



TUGAS AKHIR - TE 141599

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER CUK
DENGAN INDUKTOR TERKOPEL UNTUK REDUKSI
RIPPLE ARUS MASUKAN**

Bagus Kurniawan Susanto
NRP 2213100014

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D
Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CUK CONVERTER
WITH COUPLED INDUCTOR TO REDUCE RIPPLE
INPUT CURRENT**

Bagus Kurniawan Susanto
NRP 2213100014

Advisor
Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D
Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Melalui surat pernyataan ini saya menyatakan bahwa judul dan isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Desain dan Implementasi Konverter Cuk dengan Induktor Terkopel untuk Reduksi Ripple Arus Masukan**" adalah benar-benar hasil karya intelektual sendiri dengan bimbingan dosen pembimbing dan menggunakan bahasa yang baik dan benar sesuai dengan etika yang disempurnakan serta tidak menimbulkan unsur sara.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada halaman daftar pustaka. Apabila dikemudian hari surat pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 16 Januari 2017



Bagus Kurniawan Susanto

NRP. 2213100014

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER CUK
DENGAN INDUKTOR TERKOPEL UNTUK REDUKSI
RIPPLE ARUS MASUKAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

13-01-77

Dosen Pembimbing II

Dedet Candra Riawan S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP 19731119 200003 1 001

Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.

NIP 19351207 193003 1 004



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER CUK DENGAN INDUKTOR TERKOPEL UNTUK REDUKSI *RIPPLE* ARUS MASUKAN

ABSTRAK

Konverter merupakan perangkat elektronika daya yang dapat menaikkan (*step up*), menurunkan (*step down*) atau menaikkan dan menurunkan (*step up down*) tegangan dari sumber DC (*Direct Current*). Salah satu konverter yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan sekaligus adalah konverter cuk. Konverter cuk memiliki persamaan rasio konversi tegangan yang sama dengan konverter *buck-boost* dimana polaritas tegangan *output* yang dihasilkan berkebalikan dengan tegangan *input*. Aliran energi pada konverter cuk terjadi pada kapasitor pentransfer tegangan, sehingga nilai tegangan yang dihasilkan lebih stabil. Konverter cuk memiliki induktor di sisi *input* yang berfungsi sebagai *filter* untuk *ripple* gelombang arus masukan. Selain itu, penggunaan induktor terkopel pada konverter cuk mampu mereduksi *ripple* arus masukan.

Untuk itu, pada Tugas Akhir ini akan disimulasikan dan diimplementasikan mengenai konverter cuk dengan induktor terkopel untuk mereduksi *ripple* gelombang arus masukan. Induktor yang digunakan pada metode ini adalah induktor terkopel dimana dua buah induktor tunggal pada rangkaian konverter cuk konvensional akan dirangkai pada satu inti yang sama. Penggunaan induktor terkopel pada konverter cuk mampu mengurangi *ripple* arus masukan hingga 8,24%.

Kata kunci : Induktor Terkopel, Konverter Cuk, *Ripple* Arus Masukan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESIGN AND IMPLEMENTATION CUK CONVERTER WITH COUPLED INDUKTOR TO REDUCE RIPPLE INPUT CURRENT

ABSTRACT

Converter is power electronic device which can change a voltage to be a higher (step up converter), lower (step down converter) or higher and lower (step up down converter) than the input voltage. One of the converter that can step up and down a voltage is cuk converter. Cuk converter has characteristic like buck-boost converter where the polarity of output voltage is opposite than input voltage. Energy flow in cuk converter is occur in capasitor input (C_1), so the output voltage is more stable. Cuk converter has a inductor in input side that has a function to reduce ripple input current. Beside that, the use of coupled inductor in cuk converter can reduce the ripple input current.

Therefore, in this Final Project will be simulated and implemented cuk converter with coupled inductor to reduce ripple input current. Inductor that use in this project is coupled inductor where two individual inductor in convensional cuk converter will be made in the same core. Finally, the used of coupled inductor in cuk converter can reduce ripple input current until 8,24%.

Keyword : Cuk Converter, Coupled Inductor, Input Current Ripple

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa saya panjatkan kehadiran Illahi Rabbi Allah SWT. Karena atas berkah limpaham rahmatnya, saya dapat menyelesaikan buku Tugas Akhir ini dengan judul **“Desain dan Implementasi Konverter Cuk dengan Induktor Terkopel untuk Reduksi Ripple Arus Masukan”**. Buku ini saya persembahkan khususnya untuk kedua orang tua saya dan umumnya untuk bahan referensi penelitian selanjutnya. Qulil Haqqa Walau Kaana Murran. Katakan Kebenaran Walau itu Pahit. Saya menyadari bahwa penulisan buku Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan pada penulisan buku-buku penelitian selanjutnya.

Selama pengerjaan Tugas Akhir ini banyak pihak-pihak yang membantu baik berupa doa, bimbingan dan jasa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dedet Candra Riawan dan Bapak Soedibjo selaku dosen pembimbing pada Tugas Akhir ini
2. Bapak Heri Suryoatmojo selaku kepala Laboratorium Konversi Energi atas peminjaman peralatan laboratorium untuk pengujian Tugas Akhir ini
3. Kedua orang tua dan adik saya yang telah mendoakan dan memberikan semangat selama pengerjaan Tugas Akhir ini
4. Keluarga besar Bapak Siyono dan Sarkoen atas dukungan dan doanya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini
5. Keluarga besar E53 dan Laboratorium Konversi Energi yang telah memberikan dukungan dan doa
6. Keluarga besar Racana Putra Putri Sepuluh Nopember yang telah memberikan semangat disaat mulai lelah mengerjakan Tugas Akhir
7. *Partner* kerja sama Rifki, Reza, Kiky dan Mas Resa yang sama-sama mengambil topik mengenai elektronika daya
8. *Partner* Sekretaris-Bendahara 2 Periode Atis yang juga sama-sama berjuang menyelesaikan Tugas Akhir ini
9. Teman sekosan Putra dan Mas Yudha yang telah banyak membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini
10. Olivia Dirga Anggie Saputri, mahasiswa Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya yang telah membantu memberikan semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir
11. Dan semua orang yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Saya mengucapkan terima kasih atas doa dan dukungannya dalam menyelesaikan buku Tugas Akhir ini. Semoga buku Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya dan sebagai bahan menuntut ilmu. Akhir kata saya mengucapkan mohon maaf apabila ada kesalahan selama ini.

Surabaya, 16 Januari 2017

Bagus Kurniawan Susanto

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Relevansi	3
1.7. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 KONVERTER CUK DENGAN INDUKTOR TERKOPEL	5
2.1. Konverter Cuk	5
2.1.1. Analisis Saklar Tertutup (<i>Switch On</i>)	7
2.1.2. Analisis Saklar Terbuka (<i>Switch Off</i>)	9
2.1.3. Penurunan Persamaan Rasio Konversi	10
2.1.4. Penurunan Parameter Komponen	13
2.2. Induktor terkopel	18
2.2.1. Permodelan Induktor Terkopel	20
2.2.2. Penurunan Persamaan Komponen	20
2.3. Konverter Cuk dengan Induktor Terkopel	22
2.3.1. Penurunan Parameter Komponen	25
BAB 3 DESAIN DAN IMPLEMENTASI	29
3.1. Desain Konverter Cuk Konvensional	29
3.2. Desain Konverter Cuk dengan Induktor Terkopel	34
3.3. Permodelan Induktor Terkopel	36
3.4. Simulasi	39
3.5. Implementasi	44
BAB 4 HASIL IMPLEMENTASI DAN ANALISIS	53
4.1. Pengujian Sinyal PWM dan Pensaklaran	53

4.2.	Pengujian Konverter Cuk Konvensional	54
4.3.	Pengujian Konverter Cuk dengan Induktor Terkopel.....	57
4.4.	Perbandingan Konverter Cuk Konvensional dengan Induktor Terkopel	60
BAB 5	PENUTUP	65
5.1.	Kesimpulan	65
5.2.	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian konverter cuk	5
Gambar 2.2 Bentuk gelombang rangkaian konverter cuk.....	6
Gambar 2.3 Konverter cuk saat switch on analisa loop kiri.....	7
Gambar 2.4 Konverter cuk saat switch on analisa loop kanan.....	8
Gambar 2.5 Konverter cuk saat switch off analisa loop kiri	9
Gambar 2.6 Konverter cuk saat switch off analisa loop kanan	9
Gambar 2.7 Rangkaian ekivalen induktor terkopel	18
Gambar 2.8 Grafik antara ripple arus masukan VS duty cycle [1].....	19
Gambar 2.9 Rangkaian permodelan induktor terkopel dengan metode Cantilever	20
Gambar 2.10 Rangkain konverter cuk dengan induktor terkopel.....	22
Gambar 2.11 Rangkaian ekivalen konverter cuk dengan induktor terkopel	24
Gambar 3.1 Diagram Blok Rangkaian Konverter Cuk	29
Gambar 3.2 Permodelan induktor terkopel	39
Gambar 3.3 Simulasi konverter cuk konvensional	40
Gambar 3.4 Simulasi konverter cuk metode induktor terkopel.....	40
Gambar 3.5 Gelombang arus dan tegangan metode konvensional.	41
Gambar 3.6 Bentuk gelombang dengan metode induktor terkopel.	43
Gambar 3.7 Blok diagram rangkaian implementasi	45
Gambar 3.8 Rangkaian konverter cuk (1).....	50
Gambar 3.9 Rangkaian konverter cuk (2).....	51
Gambar 4.1 Bentuk gelombang pensaklaran.....	53
Gambar 4.2 Bentuk gelombang arus masukan metode konvensional ..	55
Gambar 4.3 Bentuk gelombang tegangan output metode konvensional	56
Gambar 4.4 Bentuk gelombang arus masukan metode induktor terkopel	57
Gambar 4.5 Bentuk gelombang tegangan output metode induktor terkopel	59
Gambar 4.6 Reduksi ripple arus masukan berdasarkan simulasi	61
Gambar 4.7 Reduksi ripple arus masukan berdasarkan implementasi .	62
Gambar 4.8 Grafik efisiensi konverter cuk	64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Desain awal rangkaian.....	30
Tabel 3.2	Parameter rangkaian konverter cuk konvensional	34
Tabel 3.3	Parameter rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel	36
Tabel 3.4	Tabel spesifikasi EER 53.....	46
Tabel 3.5	Tabel spesifikasi ETD 49	48
Tabel 3.6	Tabel komponen implementasi	50
Tabel 4.1	Perbandingan ripple arus masukan.....	60
Tabel 4.2	Reduksi ripple arus masukan dengan perubahan daya tahap simulasi.....	61
Tabel 4.3	Reduksi ripple arus masukan dengan perubahan beban tahap implementasi.....	62
Tabel 4.4	Efisiensi rangkaian konverter cuk.....	63

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik, ketersediaan sumber energi fosil sebagai sumber energi listrik setiap tahunnya telah mengalami penurunan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, telah banyak diteliti oleh para ahli mengenai pemanfaatan sumber energi alternatif baru dan terbarukan. Beberapa contoh sumber energi alternatif baru dan terbarukan yang saat ini dikembangkan adalah sel surya, air, angin, gelombang air laut, panas bumi dan *fuel cell*. Tegangan keluaran dari sumber energi terbarukan tersebut merupakan tegangan gelombang searah atau DC (*Direct Current*) dengan nilai tegangan yang relatif rendah [1]. Sehingga, perlu adanya peralatan yang mampu meningkatkan tegangan *output* dari sumber energi terbarukan tersebut.

Boost converter merupakan perangkat elektronika daya yang dapat mengubah tegangan menjadi lebih tinggi. Namun, penggunaan *conventional boost converter* tidak direkomendasikan karena menghasilkan riak gelombang arus masukan yang tinggi [1]. Selain itu, penggunaan *conventional boost converter* juga memerlukan *filter* untuk mereduksi riak gelombang arus masukan [1]. Tingginya riak gelombang arus masukan akan mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh sumber energi terbarukan tersebut. Daya yang dihasilkan akan mempunyai riak gelombang yang tinggi pula.

Oleh karena itu, perlu adanya konverter DC yang mampu meningkatkan tegangan keluaran dengan nilai riak gelombang arus masukan yang relatif rendah. Pada Tugas Akhir ini, akan disimulasikan dan diimplementasikan konverter cuk dengan induktor terkopling untuk meningkatkan tegangan keluaran dari panel surya. Konverter cuk merupakan jenis konverter yang mampu meningkatkan dan menurunkan tegangan dengan polaritas tegangan *output* berkebalikan dengan tegangan *input* dan mempunyai *ripple* arus *input* yang rendah. Selain itu, penggunaan induktor terkopling pada konverter cuk mampu mengurangi *ripple* arus *input*.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam proposal tugas akhir ini adalah:

1. Penggunaan *conventional boost converter* untuk meningkatkan tegangan keluaran dari sumber DC menghasilkan riak gelombang arus masukan yang tinggi. Sehingga perlu adanya *filter* untuk mereduksi riak gelombang tersebut.
2. Perlu adanya metode untuk mengurangi riak gelombang arus input pada konverter DC tanpa melalui *filter*.

1.3. Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah :

1. Desain dan implementasi rangkaian konverter cuk dan rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopling untuk mengurangi riak arus masukan.
2. Analisa karakteristik rangkaian konverter cuk.
3. Kinerja konverter cuk.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Desain dan implementasi difokuskan untuk mengurangi *ripple* arus masukan
2. Pengujian menggunakan tegangan *power supply* DC
3. Analisis perhitungan dan simulasi dilakukan pada kondisi ideal.

1.5. Metodologi

Penelitian Tugas Akhir ini akan dilakukan dalam beberapa langkah sebagai berikut :

1. Studi literatur
Pada tahap studi literatur, akan dipelajari mengenai konverter cuk dan induktor terkopel. Konverter cuk merupakan salah satu jenis rangkaian penguat atau pengurang tegangan seperti *buck-boost converter* dengan tegangan keluaran mempunyai polaritas yang berkebalikan dengan tegangan masukan. Sedangkan induktor terkopel merupakan dua buah induktor terpisah yang digelung pada satu inti yang sama.
2. Analisa rangkaian

Pada tahap analisa rangkaian, akan dilakukan penurunan rumus untuk mengetahui nilai induktansi dan kapasitansi sebagai parameter yang akan digunakan dalam mendesain rangkaian.

3. Desain dan simulasi rangkaian
Setelah mendapatkan penurunan rumus untuk mengetahui nilai induktansi dan kapasitansi, akan dilakukan desain rangkaian dengan memperhatikan parameter yang telah ada seperti tegangan masukan, tegangan keluaran, frekuensi pensaklaran, dan *duty cycle*.
4. Implementasi dan pengujian rangkaian
Pada tahap ini akan dilakukan pembelian komponen dan penyesuaian dengan yang ada di pasaran. Sehingga, hasil yang telah didesain dan disimulasikan akan sedikit berbeda tergantung komponen apa saja yang ada di pasaran. Selain itu, pengujian rangkaian akan diukur nilai tegangan keluaran dan diamati *ripple* arus masukan dengan menggunakan osiloskop.
5. Penarikan kesimpulan
Penarikan kesimpulan berdasarkan data yang telah diambil dari tahap simulasi dan implemetasi.

1.6. Relevansi

Hasil pada tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Mengimplementasikan rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel untuk aplikasi pada sumber energy baru dan terbarukan yang mempunyai tegangan keluaran berupa tegangan DC.
2. Referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai konverter cuk dengan induktor terkopel.
3. Menjadi referensi untuk mahasiswa yang akan mengambil tugas akhir dengan topik konverter cuk dengan induktor terkopel dan mengembangkannya.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Bab 1 adalah pendahuluan yang berisi mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, relevansi dan sistematika penulisan.
2. Bab 2 merupakan dasar teori mengenai konverter cuk dengan induktor terkopel. Pada bab 2 akan dibahas mengenai konverter cuk

konvensional, induktor terkopel dan konverter cuk dengan induktor terkopel.

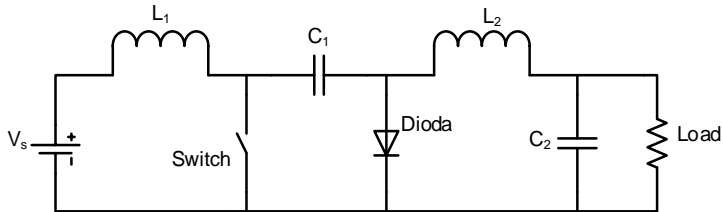
3. Bab 3 akan dibahas mengenai desain dan implementasi dari konverter cuk konvensional dan konverter cuk dengan induktor terkopel yang berupa penurunan rumus untuk mencari nilai parameter rangkaian seperti induktor dan kapasitor. Simulasi pada tugas akhir ini menggunakan *software* PSIM dan diimplementasikan dengan melakukan pengujian skala laboratorium.
4. Bab 4 akan dibahas mengenai analisa dari hasil simulasi dan implementasi serta membandingkan hasil pengujian antara konverter cuk konvensional dengan konverter cuk yang menggunakan induktor terkopel.
5. Bab 5 berisi mengenai kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

KONVERTER CUK DENGAN INDUKTOR TERKOPEL

2.1. Konverter Cuk

Konverter cuk merupakan salah satu jenis rangkaian penaik atau penurun tegangan yang memiliki karakteristik seperti rangkaian *buck-boost*. Hasil keluaran tegangan *output* mempunyai polaritas yang berkebalikan dengan tegangan *input*. Konverter cuk terdiri dari sumber tegangan arus searah atau *direct current* (DC), induktor pada sisi *input* (L_1), kapasitor pentransfer tegangan (C_1), pensaklaran atau *switch*, dioda, induktor pada sisi *output* (L_2), kapasitor *filter* (C_2) dan beban (resistif). Bentuk rangkaian konverter cuk dapat dilihat pada gambar 2.1. Induktor sisi *input* berfungsi sebagai *filter* dari sumber tegangan DC untuk mengurangi riak gelombang *input*. Berbeda dengan konverter pada umumnya dimana aliran energi terjadi pada induktor, pada konverter cuk aliran energi terjadi pada kapasitor pentransfer tegangan [2]. Hal ini karena pada kondisi *steady state* tegangan rata-rata yang melalui kedua induktor sama dengan nol. Kelebihan dari konverter ini adalah arus kontinyu pada sisi *input* dan *output*. Sedangkan kelemahan pada konverter cuk adalah besarnya nilai reaktif pada komponen dan besarnya arus pada *switch*, dioda serta kapasitor pentransfer tegangan. Berikut adalah rangkaian umum untuk konverter cuk :



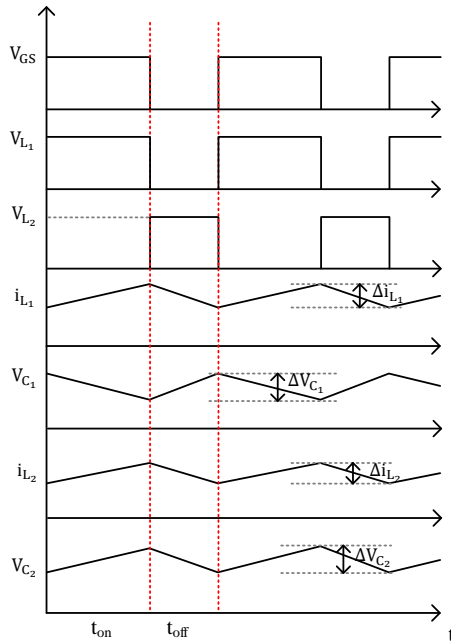
Gambar 2.1 Rangkaian konverter cuk

Analisa pada konverter cuk berdasarkan beberapa asumsi berikut ini [2]:

1. Kedua induktor pada konverter cuk mempunyai nilai induktansi yang besar untuk menghasilkan arus yang konstan.

2. Kedua kapasitor pada konverter cuk mempunyai nilai kapasitansi yang cukup besar untuk menghasilkan tegangan keluaran yang konstan.
3. Rangkaian dioperasikan pada kondisi *steady state*, dimana gelombang tegangan dan arus merupakan gelombang periodik.
4. Untuk *duty cycle* (D), *switch* tertutup pada waktu t_{on} . Dimana t_{on} merupakan perkalian antara *duty cycle* dengan periode (T). Periode merupakan waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu gelombang penuh. Secara matematis dapat dituliskan $t_{on} = D.T$. Selanjutnya, *switch* terbuka pada waktu t_{off} . Dimana t_{off} merupakan perkalian antara $(1-D).T$.
5. Dioda dan *switch* pada rangkaian konverter cuk merupakan komponen yang ideal.

Prinsip kerja konverter cuk dapat dianalisa ke dalam dua keadaan, yaitu pada saat *switch on* atau t_{on} dan pada saat *switch off* atau t_{off} . Gambar 2.2 merupakan gambar bentuk gelombang pada rangkaian konverter cuk.



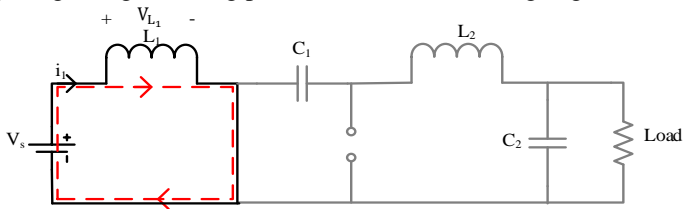
Gambar 2.2 Bentuk gelombang rangkaian konverter cuk

Gambar 2.2 merupakan bentuk gelombang pada rangkaian konverter cuk, dimana V_{GS} merupakan tegangan pensaklaran pada sisi *gate-source*, V_{L_1} merupakan tegangan pada induktor sisi *input* atau L_1 , V_{L_2} merupakan tegangan pada induktor sisi *output* atau L_2 , i_{L_1} merupakan arus pada sisi *input* atau arus pada sisi induktor L_1 , V_{C_1} merupakan tegangan pada kapasitor pentransfer tegangan, i_{L_2} merupakan arus pada sisi *output* atau pada induktor L_2 dan V_{C_2} merupakan tegangan pada kapasitor filter di sisi tegangan *output*.

Pada saat *switch on*, *switch* dalam keadaan tertutup dimana V_{GS} akan aktif, sehingga arus akan mengalir melalui *switch* dan dioda dalam kondisi *reverse bias*. Pada kondisi ini, arus pada sisi *input* akan mengalami pengisian energi dari tegangan sumber dan kapasitor pentransfer tegangan (C_1) akan mengalami keadaan *discharge* oleh arus dari induktor sisi *output* (L_2). Sehingga arus pada induktor sisi *output* akan mengalami pengisian energi. Pada saat *switch off*, *switch* dalam keadaan terbuka dan dioda dalam keadaan *forward bias* dimana V_{GS} akan *off*. Sehingga, arus dari induktor sisi *input* (L_1) dan induktor sisi *output* (L_2) akan mengalir melalui dioda dalam kondisi pengosongan energi. Pada keadaan ini kapasitor pentransfer tegangan (C_1) akan mengalami kondisi *charge* oleh arus dari induktor sisi *input* (L_1) [3].

2.1.1. Analisis Saklar Tertutup (*Switch On*)

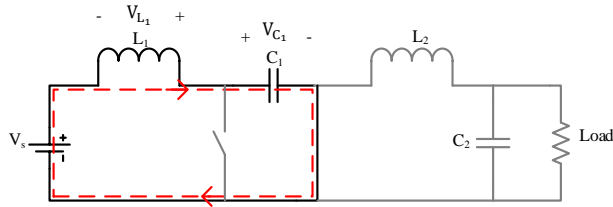
Pada saat saklar tertutup, dioda akan mengalami kondisi *reverse bias*. Sehingga, arus akan mengalir melalui saklar. Pada kondisi ini, induktor sisi *input* (L_1) akan mengalami pengisian energi oleh sumber tegangan DC [4] sesuai dengan gambar 2.3. Sedangkan induktor sisi *output* (L_2) juga mengalami pengisian energi oleh kapasitor pentransfer tegangan (C_1) dan kapasitor *filter* (C_2) juga mengalami pengisian energi oleh kapasitor pentransfer tegangan serta hanya berfungsi sebagai pengurang riak gelombang pada sisi beban sesuai dengan gambar 2.4.



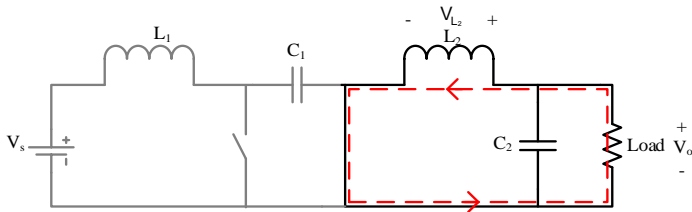
Gambar 2.3 Konverter cuk saat *switch on* analisa *loop* kiri

2.1.2. Analisis Saklar Terbuka (*Switch Off*)

Pada saat saklar terbuka, dioda akan mengalami kondisi *reverse bias*. Sehingga, arus akan mengalir melalui dioda. Arus yang mengalir melalui dioda merupakan arus dari induktor L_1 dan induktor L_2 . Pada kondisi ini, kapasitor pentransfer tegangan (C_1) akan mengalami *charge* dan mendapat aliran energi dari sumber tegangan DC dan induktor L_1 [4] sesuai dengan gambar 2.5. Sedangkan induktor L_2 akan mengalami pengosongan arus dan mengalirkan energi ke beban serta kapasitor *filter* C_2 akan mengalirkan energi ke beban sesuai gambar 2.6.



Gambar 2.5 Konverter cuk saat *switch off* analisa *loop* kiri



Gambar 2.6 Konverter cuk saat *switch off* analisa *loop* kanan

Dengan menggunakan analisis rangkaian *loop* tertutup pada gambar 2.5, akan didapatkan dua persamaan sebagai berikut :

$$-V_s + V_{L1(off)} + V_{C1} = 0$$

Dengan memindahruaskan V_s dan V_{C1} ke ruas sisi kanan, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$V_{L1(off)} = V_s - V_{C1} \quad (2.3)$$

Dari persamaan 2.3 di atas dapat diketahui bahwa nilai induktor L_1 pada saat pengosongan arus sama dengan nilai dari sumber tegangan DC dikurangi dengan tegangan pada kapasitor pentransfer tegangan (C_1). Sedangkan pada gambar 2.6 akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$-V_o + V_{L_2(off)} = 0$$

Dengan memindahruaskan V_o ke ruas sebelah kanan, maka akan didapatkan nilai pengosongan arus pada induktor L_2 sebagai berikut :

$$V_{L_2(off)} = V_o \quad (2.4)$$

Dari persamaan 2.4 di atas dapat diketahui bahwa nilai pengosongan arus pada induktor L_2 sama dengan nilai tegangan *output* dengan polaritas yang berkebalikan.

2.1.3. Penurunan Persamaan Rasio Konversi

Penurunan persamaan rasio konversi dapat dilakukan dengan penurunan arus pada kondisi saklar terbuka dan pada kondisi saklar tertutup. Dengan menggunakan prinsip *inductor voltage second balance* akan didapatkan dua buah penurunan persamaan untuk nilai V_{L_1} dan nilai V_{L_2} . Untuk V_{L_1} didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\int_0^{DT} V_{L_1(on)} + \int_{DT}^T V_{L_1(off)} = 0 \quad (2.5)$$

Dimana D merupakan *duty cycle* dan T merupakan periode gelombang *switch on* dan *switch off*. Dengan melakukan substitusi persamaan 2.1 dan persamaan 2.3 ke persamaan 2.5, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$\int_0^{DT} V_s + \int_{DT}^T V_s - V_{C_1} = 0 \quad (2.6)$$

Integral pertama berlangsung pada saat keadaan saklar tertutup yaitu pada rentang waktu 0 sampai DT . Sedangkan integral kedua berlangsung pada saat saklar dalam keadaan terbuka yaitu pada rentang waktu DT sampai T . Setelah dilakukan pengintegralan pada persamaan 2.6, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$V_s \cdot (DT - 0) + (V_s - V_{C_1}) \cdot (T - DT) = 0 \quad (2.7)$$

Dengan melakukan proses distribusi matematika pada persamaan 2.7, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$DT \cdot V_s + T \cdot V_s - DT \cdot V_s - T \cdot V_{C_1} + DT \cdot V_{C_1} = 0 \quad (2.8)$$

Lakukan pembagian pada persamaan 2.8 dengan T, sehingga akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$D \cdot V_s + V_s - D \cdot V_s - V_{C_1} + D \cdot V_{C_1} = 0 \quad (2.9)$$

Nilai $D \cdot V_s$ akan saling menghilangkan dengan nilai $-D \cdot V_s$, sehingga akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$V_s - V_{C_1} + D \cdot V_{C_1} = 0 \quad (2.10)$$

Dengan memindahruaskan V_{C_1} dan $D \cdot V_{C_1}$ ke ruas kanan, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$V_s = V_{C_1} - D \cdot V_{C_1} \quad (2.11)$$

$$V_s = (1 - D) \cdot V_{C_1} \quad (2.12)$$

Pada persamaan 2.12 akan dijadikan ke dalam parameter V_{C_1} , sehingga akan menjadi sebagai berikut :

$$V_{C_1} = \frac{1}{1-D} \cdot V_s \quad (2.13)$$

Dengan cara yang sama untuk mencari nilai V_{L_2} akan didapatkan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\int_0^{DT} V_{L_2(on)} + \int_{DT}^T V_{L_2(off)} = 0 \quad (2.14)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 2.2 dan 2.4 ke persamaan 2.14, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$\int_0^{DT} V_{C_1} + V_o + \int_{DT}^T V_o = 0 \quad (2.15)$$

Integral pertama berlangsung pada saat keadaan saklar tertutup yaitu pada rentang waktu 0 sampai DT. Sedangkan integral kedua berlangsung pada saat saklar dalam keadaan terbuka yaitu pada rentang waktu DT sampai T. Setelah dilakukan pengintegralan pada persamaan 2.15, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$(V_{C_1} + V_o) \cdot (DT - 0) + V_o \cdot (T - DT) = 0 \quad (2.16)$$

Dengan melakukan proses distribusi matematika pada persamaan 2.16, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$DT \cdot V_{C_1} + DT \cdot V_o + T \cdot V_o - DT \cdot V_o = 0 \quad (2.17)$$

Lakukan pembagian pada persamaan 2.17 dengan T, sehingga akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$D \cdot V_{C_1} + D \cdot V_o + V_o - D \cdot V_o = 0 \quad (2.18)$$

Nilai $-D \cdot V_o$ akan saling menghilangkan dengan nilai $D \cdot V_o$, sehingga akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$D \cdot V_{C_1} + V_o = 0 \quad (2.19)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.13 ke persamaan 2.19, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$D \cdot \frac{1}{1-D} \cdot V_s + V_o = 0 \quad (2.20)$$

Dengan melakukan pemindahan ruas persamaan $-D \cdot \frac{1}{1-D} \cdot V_s$ ke ruas sebelah kanan, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut

$$V_o = -D \cdot \frac{1}{1-D} \cdot V_s \quad (2.21)$$

Sehingga, persamaan rasio konversi untuk perbandingan nilai tegangan *output* dengan tegangan *input* adalah

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{D}{1-D} \quad (2.22)$$

Dari persamaan 2.22 dapat diketahui bahwa, nilai tegangan *output* pada konverter cuk memiliki polaritas minus yang artinya berkebalikan dengan tegangan *input*. Hal ini sesuai dengan teori yang dijelaskan pada halaman sebelumnya [2].

2.1.4. Penurunan Parameter Komponen

Berdasarkan gambar 2.1, rangkaian konverter cuk memiliki beberapa parameter, seperti induktor pada sisi *input* (L_1), kapasitor pentransfer tegangan (C_1), induktor pada sisi *output* (L_2), kapasitor *filter* (C_2) dan beban (resistif). Untuk itu, perlu adanya perhitungan dalam menentukan parameter-parameter tersebut sebagai bahan desain konverter cuk. Berikut akan dibahas mengenai perhitungan parameter konverter cuk berdasarkan perhitungan. Pertama akan dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai induktor pada sisi *input* (L_1). Perhitungan nilai L_1 dilakukan pada saat kondisi saklar dalam keadaan *on* [3].

Berdasarkan gambar 2.3 diketahui bahwa arus mengalir dari sumber tegangan DC menuju L_1 dan melalui saklar pada saat *on*. Sehingga, berdasarkan *Khircoff Voltage Law* akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$-V_s + V_{L_1} = 0 \quad (2.23)$$

Dengan memindahruaskan nilai V_s ke sisi sebelah kanan, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$V_{L_1} = V_s \quad (2.24)$$

V_{L_1} merupakan nilai dari $L_1 \cdot \frac{di_1}{dt}$, sehingga persamaan 2.24 dapat diubah menjadi berikut :

$$L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} = V_s \quad (2.25)$$

Nilai $\frac{di_1}{dt}$ merupakan nilai perubahan arus *input* pada interval waktu tertentu, dimana i_1 merupakan nilai dari *ripple* arus pada sisi *input* (Δi_1) dan dt merupakan fungsi waktu pada saat saklar dalam kondisi *on*. Sehingga, nilai dt sama dengan nilai t_{on} . maka, persamaan 2.25 dapat diubah menjadi :

$$L_1 \cdot \frac{\Delta i_1}{t_{on}} = V_s \quad (2.26)$$

Δi_1 merupakan nilai dari factor *ripple* (λ) yang dikalikan dengan arus dan t_{on} merupakan nilai dari *duty cycle* (D) dikalikan dengan periode satu gelombang penuh (T). Sehingga, persamaan 2.26 dapat diubah menjadi :

$$L_1 \cdot \frac{\lambda \cdot i_1}{D \cdot T} = V_s \quad (2.27)$$

$$L_1 = \frac{V_s \cdot D \cdot T}{\lambda \cdot i_1} \quad (2.28)$$

Berdasarkan persamaan 2.22, nilai D dapat diubah ke dalam bentuk $\frac{V_o}{V_o + V_s}$, nilai T merupakan kebalikan dari nilai frekuensi *switching* (fs) dan nilai i_1 merupakan pembagian antara daya (P) dengan tegangan sumber (Vs). Maka, persamaan 2.28 dapat diubah menjadi :

$$L_1 = \frac{V_s \cdot \frac{V_o}{V_o + V_s}}{\lambda \cdot \frac{P}{V_s} \cdot f_s} \quad (2.29)$$

$$L_1 = \frac{V_s^2 \cdot V_o}{\lambda \cdot P \cdot f_s \cdot (V_o + V_s)} \quad (2.30)$$

Kedua, akan dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai dari L_2 . Nilai L_2 dapat ditentukan pada saat rangkaian dalam kondisi saklar *off*. Berdasarkan gambar 2.6, akan ada aliran arus dari induktor L_2 menuju ke beban. Sehingga, menurut analisa *Khircoff Voltage Law*, akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$V_{L_2} = V_o \quad (2.31)$$

V_{L_2} merupakan nilai dari $L_2 \cdot \frac{di_2}{dt}$, sehingga persamaan 2.31 dapat diubah menjadi berikut :

$$L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} = V_o \quad (2.32)$$

Nilai $\frac{di_2}{dt}$ merupakan nilai perubahan arus *output* pada interval waktu tertentu, dimana i_2 merupakan nilai dari *ripple* arus pada sisi *output* (Δi_2) dan dt merupakan fungsi waktu pada saat saklar dalam kondisi *off*. Sehingga, nilai dt sama dengan nilai t_{off} . maka, persamaan 2.32 dapat diubah menjadi:

$$L_2 \cdot \frac{\Delta i_2}{t_{off}} = V_o \quad (2.33)$$

Δi_2 merupakan nilai dari factor *ripple* (λ) yang dikalikan dengan arus dan t_{off} merupakan nilai dari *duty cycle* pada kondisi saklar *off* (1-D) dikalikan dengan periode satu gelombang penuh (T). Sehingga, persamaan 2.33 dapat diubah menjadi :

$$L_2 \cdot \frac{\lambda \cdot i_2}{(1-D) \cdot T} = V_o \quad (2.34)$$

$$L_2 = \frac{V_o \cdot (1-D) \cdot T}{\lambda \cdot i_2} \quad (2.35)$$

Pada perhitungan ini diasumsikan bahwa daya *input* sama dengan daya *output*.

$$P_s = P_o$$

$$V_s \cdot i_1 = V_o \cdot i_2$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{V_o}{V_s} \quad (2.36)$$

Berdasarkan persamaan 2.22 mengenai rasio konversi, maka nilai i_2 dapat diubah ke dalam rasio konversi pula menjadi persamaan berikut ini :

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{D}{1-D}$$

$$i_2 = \frac{1-D}{D} \cdot i_1 \quad (2.37)$$

Substitusikan persamaan 2.37 ke dalam persamaan 2.35

$$L_2 = \frac{V_o \cdot (1-D) \cdot T}{\lambda \cdot \frac{1-D}{D} \cdot i_1} \quad (2.38)$$

$$L_2 = \frac{V_o \cdot D \cdot T}{\lambda \cdot i_1} \quad (2.39)$$

Berdasarkan persamaan 2.22, nilai D dapat diubah ke dalam bentuk $\frac{V_o}{V_o + V_s}$, nilai T merupakan kebalikan dari nilai frekuensi *switching* (fs) dan nilai i_1 merupakan pembagian antara daya (P) dengan tegangan sumber (V_s) Maka, persamaan 2.39 dapat diubah menjadi :

$$L_2 = \frac{V_o \cdot \frac{V_o}{V_o + V_s}}{\lambda \cdot \frac{P}{V_s} \cdot f_s} \quad (2.40)$$

$$L_2 = \frac{V_s \cdot V_o^2}{\lambda \cdot P \cdot f_s \cdot (V_o + V_s)} \quad (2.41)$$

Ketiga, akan dilakukan penurunan persamaan untuk menentukan nilai dari kapasitor pentransfer tegangan (C_1). Analisa C_1 dilakukan pada saat rangkaian dalam kondisi saklar *on*. Berdasarkan gambar 2.4, kapasitor C_1 dalam keadaan *discharging*, sehingga akan mengalirkan arus dari kapasitor C_1 menuju ke beban dan ke induktor L_2 . Karena berada pada satu *loop* yang sama, maka besarnya arus dari kapasitor C_1 sama dengan arus yang mengalir ke beban i_2 . Sehingga dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$I_c = i_2 \quad (2.42)$$

I_c merupakan arus yang mengalir pada kapasitor, sehingga dapat diturunkan ke dalam persamaan $C_1 \cdot \frac{dV_c}{dt}$. Sedangkan i_2 merupakan arus yang mengalir ke beban dan dapat diganti dengan persamaan 2.37. Sehingga, persamaan 2.42 dapat diubah menjadi :

$$C_1 \cdot \frac{dV_c}{dt} = \frac{1-D}{D} \cdot i_1 \quad (2.43)$$

dV_c merupakan perkalian antara faktor *ripple* tegangan dengan tegangan maksimal yang dapat ditahan oleh kapasitor C_1 . Kapasitor C_1 merupakan kapasitor pentransfer tegangan, dimana kapasitor C_1 akan dilewati oleh tegangan sumber dan tegangan *output*. Sehingga nilai V_{C_1} sama dengan nilai $V_s + V_o$ [2]. Sedangkan dt merupakan waktu dalam keadaan saklar *on* atau t_{on} . Maka, persamaan 2.43 dapat diubah menjadi :

$$C_1 \cdot \frac{\lambda \cdot (V_s + V_o)}{t_{on}} = \frac{1-D}{D} \cdot i_1 \quad (2.44)$$

Nilai t_{on} merupakan nilai dari *duty cycle* (D) dikalikan dengan satu periode gelombang penuh (T). Dengan merubah nilai t_{on} dan memindahruaskan parameter pada persamaan 2.44, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$C_1 = \frac{(1-D) \cdot i_1 \cdot D \cdot T}{D \cdot \lambda \cdot (V_o + V_s)} \quad (2.45)$$

Berdasarkan persamaan 2.22, nilai D dapat diubah menjadi bentuk $\frac{V_o}{V_o + V_s}$, nilai T merupakan kebalikan dari nilai frekuensi *switching* (fs) dan nilai i_1 merupakan pembagian antara daya (P) dengan tegangan sumber (V_s). Maka persamaan 2.45 dapat diubah menjadi :

$$C_1 = \frac{\left(1 - \frac{V_o}{V_o + V_s}\right) \frac{P}{V_s}}{\lambda \cdot (V_o + V_s) \cdot f_s} \quad (2.46)$$

$$C_1 = \frac{P}{\lambda \cdot f_s \cdot (V_o + V_s)^2} \quad (2.47)$$

Keempat, akan dilakukan penurunan rumus untuk menentukan nilai kapasitor *filter* (C_2). Karena kapasitor ini sebagai kapasitor *filter*, maka penurunannya dapat menggunakan persamaan dasar sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V &= I \cdot R & \text{atau} \\ \Delta V_o &= i_2 \cdot X_{C_2} \end{aligned} \quad (2.48)$$

Dimana, ΔV_o merupakan *ripple* tegangan *output* dari rangkaian konverter cuk yang dapat diganti dengan persamaan $\lambda \cdot V_o$, i_2 merupakan arus yang mengalir pada beban dan X_{C_2} merupakan impedansi dari kapasitor C_2 yang nilainya sama dengan $\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_2}$. Sehingga, persamaan 2.48 dapat diubah menjadi :

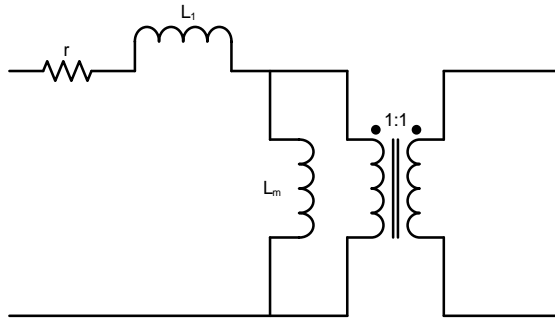
$$\lambda \cdot V_o = i_2 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_2} \quad (2.49)$$

Dengan memindahuaskan persamaan 2.49, maka akan didapatkan persamaan untuk menentukan nilai kapasitor *filter* adalah

$$C_2 = i_2 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot \lambda \cdot V_o} \quad (2.50)$$

2.2. Induktor Terkopel

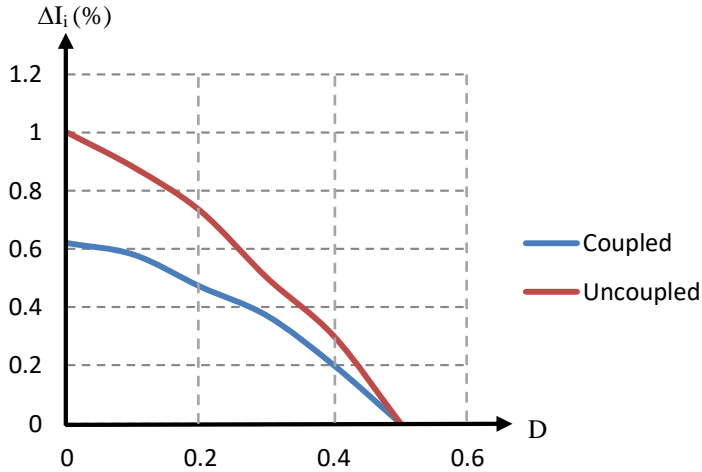
Saat ini, banyak pengembangan mengenai induktor salah satunya adalah induktor terkopel. Induktor terkopel merupakan dua buah induktor terpisah yang digelung pada satu inti yang sama. Rangkaian ekivalen induktor terkopel dapat dilihat pada gambar 2.7. Harga dari induktor terkopel lebih murah daripada dua buah induktor biasa. Belitan pada induktor terkopel dapat dirangkai secara seri dan paralel serta dapat dioperasikan sebagai transformator [5].



Gambar 2.7 Rangkaian ekivalen induktor terkopel

Salah satu keuntungan dari induktor terkopel adalah mempunyai rasio belitan yang sama, yaitu 1:1. Koefisien induktor terkopel, K , sekitar 0.95, lebih rendah daripada koefisien transformator [5]. Topologi

induktor terkopel dapat mengurangi rugi-rugi pada inti dan belitan, sehingga induktor terkopel dapat memperbaiki *ripple* arus pada sisi input. Induktor terkopel juga mengurangi emisi elektromagnetik, meningkatkan efisiensi, dan memperbaiki respon transien [1]. Gambar 2.8 merupakan grafik perbandingan antara *ripple* arus dan *duty cycle* pada induktor terkopel dan induktor tanpa kopling.



Gambar 2.8 Grafik antara *ripple* arus masukan VS *duty cycle* [1]

Berdasarkan gambar 2.7, jika salah satu sisi induktor dialiri arus, maka akan terbangkitkan *fluks* yang menginduksi pada induktor sisi satunya [6]. Misal, akan dianalisa apabila arus dialirkan pada induktor L_1 . Arus yang dialirkan pada induktor L_1 akan membangkitkan dua buah *fluks* magnetik, yaitu ϕ_{11} dan ϕ_{12} . Apabila terdapat arus yang mengalir juga pada induktor sisi L_2 , maka akan ada pengaruh *fluks* magnetik yaitu ϕ_{21} dan ϕ_{22} . Hubungan antara simbol-simbol di atas dapat dituliskan secara matematis seperti berikut ini :

$$V_{L_1} = N_1 \cdot \frac{d\phi_{11}}{dt} + N_1 \cdot \frac{d\phi_{12}}{dt} \quad (2.51)$$

$$V_{L_2} = N_2 \cdot \frac{d\phi_{21}}{dt} + N_2 \cdot \frac{d\phi_{22}}{dt} \quad (2.52)$$

Dimana, ϕ_{11} merupakan *fluks* pada induktor L_1 , ϕ_{12} merupakan *fluks* pada induktor L_1 yang juga mempengaruhi induktor L_2 , ϕ_{22} merupakan *fluks* pada induktor L_2 , ϕ_{21} merupakan *fluks* pada induktor L_2 yang juga mempengaruhi induktor L_1 , N_1 merupakan jumlah belitan pada induktor L_1 dan N_2 merupakan jumlah belitan pada induktor L_2

Atau dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu :

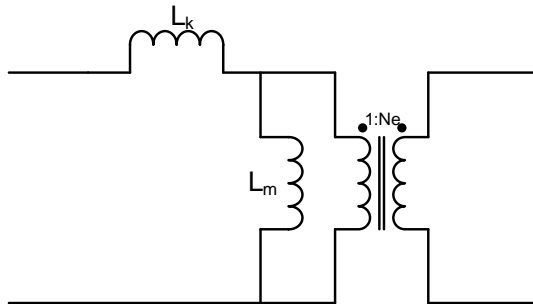
$$V_{L_1} = L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + L_{12} \cdot \frac{di_2}{dt} \quad (2.51)$$

$$V_{L_2} = L_{21} \cdot \frac{di_1}{dt} + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \quad (2.52)$$

Dimana, nilai V_{L_1} merupakan tegangan pada induktor L_1 , V_{L_2} merupakan nilai tegangan pada induktor L_2 , i_1 merupakan arus yang mengalir pada sisi induktor L_1 , i_2 merupakan arus yang mengalir pada sisi induktor L_2 , L_{12} dan L_{21} merupakan induktansi bersama pada induktor terkopel.

2.2.1. Permodelan Induktor Terkopel

Induktor terkopel dapat dimodelkan dengan transformator ideal yang dirangkain seri dengan induktor bocor (L_k) dan dirangkain paralel dengan induktor magnetisasi (L_m). Salah satu permodelan induktor terkopel adalah dengan menggunakan metode *Cantilever*.



Gambar 2.9 Rangkaian permodelan induktor terkopel dengan metode *Cantilever*

2.2.2. Penurunan Persamaan Komponen

Secara matematis, nilai L_k didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$L_k = L_1 \cdot (1 - k^2) \quad (2.53)$$

k merupakan koefisien kopling pada induktor terkopel [7]. Nilai k didapatkan dari persamaan berikut ini :

$$k = \frac{L_m}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (2.54)$$

Dimana, L_m merupakan induktor magnetisasi, L_1 merupakan induktor pada sisi primer dan L_2 merupakan induktor pada sisi sekunder. Perhitungan nilai k dapat ditinjau dari dua kondisi. Pertama kondisi untuk menentukan nilai *zero input ripple current* dan kedua untuk menentukan kondisi *zero output ripple current*. Untuk *zero input ripple current* nilai k sama dengan nilai n dan untuk *zero output ripple current* nilai k sama dengan $1/n$ [7]. Nilai n merupakan perbandingan antara jumlah belitan sekunder dengan belitan primer yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$n = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.55)$$

$$n = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (2.56)$$

Dengan menyubstitusikan persamaan 2.56 ke persamaan 2.53, maka didapatkan nilai induktor bocor sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_k &= L_1 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}^2\right) \\ L_k &= L_1 \cdot \left(1 - \frac{L_2}{L_1}\right) \\ L_k &= L_1 - L_2 \end{aligned} \quad (2.57)$$

Sedangkan nilai induktor magnetisasi didapatkan dengan selisih antara nilai induktor L_1 dengan induktor bocor (L_k) [6]. Secara matematis dapat dituliskan :

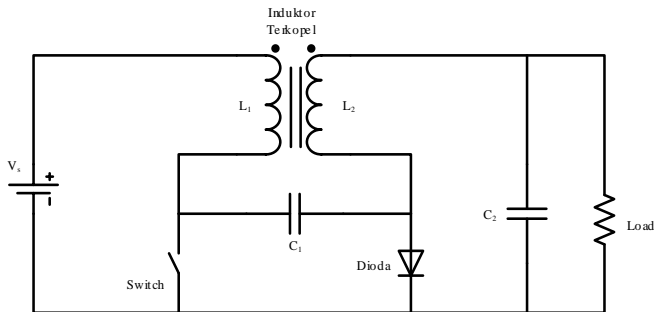
$$L_m = L_1 - L_k \quad (2.58)$$

Sementara itu, nilai N_e merupakan akar dari perbandingan nilai induktor L_2 dengan induktor magnetisasi [6]. Secara matematis dapat dituliskan sebagai :

$$N_e = \sqrt{\frac{L_2}{L_m}} \quad (2.59)$$

2.3. Konverter Cuk dengan Induktor Terkoppel

Pada topologi konverter cuk di atas terdapat dua induktor yang digulung pada inti yang berbeda. Dua induktor tersebut dapat digulung pada inti yang sama sehingga dapat disebut sebagai konverter cuk dengan induktor terkoppel. Tegangan yang melalui dua induktor pada konverter cuk mempunyai nilai yang sama dengan tegangan yang mengalir pada konverter cuk dengan induktor terkoppel [7]. Hal ini terjadi karena dua induktor dapat dikopling pada satu inti yang sama tanpa memberikan efek konversi tegangan DC. Total arus magnetisasi pada induktor terkoppel merupakan penjumlahan arus pada masing-masing induktor [7].



Gambar 2.10 Rangkaian konverter cuk dengan induktor terkoppel

Apabila terdapat dua induktor yang digulung pada satu inti yang sama, maka akan ada efek untuk mengurangi *ripple* arus pada sisi *input* ataupun pada sisi *output* tergantung dari bagaimana mendesain rangkaian konverter cuk [8]. Penggunaan satu inti yang sama, akan ada pengaruh *fluks* antara induktor L_1 dan induktor L_2 . Berdasarkan gambar 2.10 dapat diartikan bahwa apabila ada arus yang mengalir pada induktor L_1 , maka

pada inti besi tersebut akan timbul *fluks* yang mengalir di dalam inti. *Fluks* ini akan menginduksi induktor L_2 sehingga akan ada pengaruh dari induktor magnetisasi. Penurunan persamaan untuk induktor terkopel sesuai dengan persamaan 2.51 dan 2.52 yaitu :

$$V_{L_1} = L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + L_{12} \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$V_{L_2} = L_{21} \cdot \frac{di_1}{dt} + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt}$$

V_{L_1} merupakan tegangan pada sisi induktor L_1 , V_{L_2} merupakan tegangan pada sisi induktor L_2 , L_{12} merupakan induktor magnetisasi dimana *fluks* yang mengalir pada induktor L_1 akan mempengaruhi induktor L_2 , L_{21} merupakan induktor magnetisasi dimana *fluks* yang mengalir pada L_2 akan mempengaruhi *fluks* pada induktor L_1 . Induktor magnetisasi L_{12} dan L_{21} mempunyai nilai yang sama dan dapat disederhanakan menjadi L_m (*mutual inductance*) [9]. Maka persamaan 2.51 dan 2.52 dapat disederhanakan menjadi :

$$V_{L_1} = L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + L_m \cdot \frac{di_2}{dt} \quad (2.60)$$

$$V_{L_2} = L_m \cdot \frac{di_1}{dt} + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \quad (2.61)$$

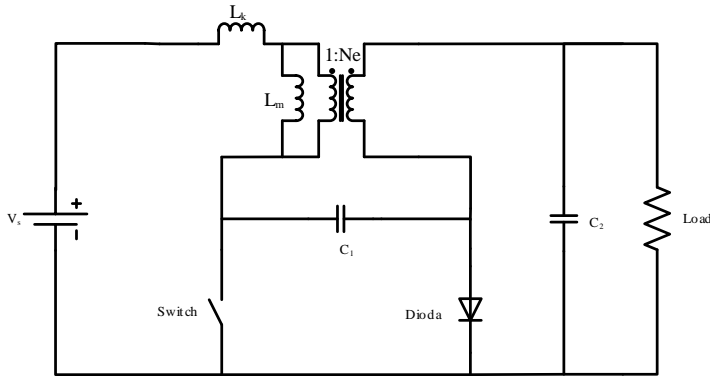
Ketika ada dua buah induktor digulung pada satu inti yang sama, maka akan ada nilai koefisien kopling, k , yang digunakan untuk mengukur ketebalan dari kopling tersebut [9]. Koefisien kopling merupakan nilai perbandingan antara induktor magnetisasi atau *mutual inductance* dengan akar dari perkalian antara induktor L_1 dengan induktor L_2 . Secara matematis dapat dituliskan sesuai dengan persamaan 2.54 yaitu:

$$k = \frac{L_m}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

Apabila induktor tidak digulung pada satu inti yang sama, maka nilai dari induktor magnetisasi sama dengan nol. Sehingga nilai koefisien kopling sama dengan nol, $k=0$. Apabila induktor digulung pada satu inti yang sama maka akan ada nilai induktansi magnetisasi. Ketika induktor

digulung dengan kerapatan tertentu, maka seluruh *fluks* akan mengalir pada inti dan menginduksi sisi yang lain dan tidak ada induktansi bocor atau *leakage inductance*. Sehingga, nilai induktor terkopel sama dengan 1, $k=1$ [9].

Permodelan konverter cuk dengan induktor terkopel menggunakan jenis permodelan *Cantilever*, sehingga rangkaian pada gambar 2.10 dapat diganti seperti gambar 2.11.



Gambar 2.11 Rangkaian ekivalen konverter cuk dengan induktor terkopel

Penggunaan induktor terkopel pada konverter cuk dapat digunakan untuk menentukan karakteristik *ripple* arus *input* yang rendah. Untuk mendapatkan nilai *ripple* arus *input* yang rendah, maka nilai dari koefisien kopling sama dengan nilai perbandingan belitan antara sisi sekunder dan sisi primer [7]. Secara matematis dapat dituliskan :

$$k = n \quad (2.62)$$

Dengan menyubstitusikan persamaan 2.54 dan 2.56 ke persamaan 2.62, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{L_m}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (2.63)$$

Dari persamaan, 2.54 di atas dapat disederhanakan sehingga nilai dari induktor magnetisasi dapat ditentukan sebagai berikut :

$$L_m = \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (2.64)$$

$$L_m = L_2 \quad (2.65)$$

Salah satu syarat untuk mendapatkan *ripple* arus *input* yang rendah adalah nilai induktor magnetisasi sama dengan nilai induktor L_2 atau induktor sisi sekunder. Selain itu, untuk mendapatkan *ripple* arus *input* yang rendah, nilai dari koefisien kopling harus kurang dari 1 [7]. Maka, secara matematis dapat dituliskan :

$$k < 1 \quad (2.66)$$

Karena untuk menapatkan nilai *ripple* arus *input* yang rendah, maka nilai $k=n$. dengan menyubstitusikan persamaan 2.56 ke 2.66, maka akan didapatkan :

$$\sqrt{\frac{L_2}{L_1}} < 1 \quad (2.67)$$

$$L_2 < L_1 \quad (2.68)$$

Syarat berikutnya untuk mendapatkan *ripple* arus *input* yang rendah adalah nilai dari induktor L_2 lebih rendah dari induktor L_1 [7].

2.3.1. Penurunan Parameter Komponen

Parameter pada konverter cuk dengan induktor terkopel sama dengan pada konverter cuk konvensional, yaitu induktor pada sisi *input* (L_1), kapasitor pentransfer tegangan (C_1), induktor pada sisi *output* (L_2), kapasitor *filter* (C_2) dan beban (resistif). Namun, untuk penggunaan induktor terkopel, induktor L_1 dan induktor L_2 digulung pada satu inti yang sama, sehingga akan ada nilai induktansi bersama atau induktor magnetisasi (L_m). Penurunan persamaan untuk menentukan nilai kapasitor pentransfer tegangan C_1 dan kapasitor *filter* C_o , sama dengan penurunan pada metode konvensional. Sedangkan, penurunan untuk induktor L_1 dan induktor L_2 berdasarkan persamaan 2.60 dan 2.61.

Pada persamaan 2.60 dan 2.61, nilai V_{L_1} sama dengan nilai dari tegangan sumber, sehingga dapat dituliskan menjadi V_s . sedangkan nilai

V_{L_2} sama dengan nilai dari tegangan *output*, sehingga dapat dituliskan dengan V_o . Maka pada persamaan 2.60 dan 2.61 dapat dituliskan kembali menjadi :

$$V_s = L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + L_m \cdot \frac{di_2}{dt} \quad (2.69)$$

$$V_o = L_m \cdot \frac{di_1}{dt} + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \quad (2.70)$$

Pertama akan dilakukan penurunan pada persamaan 2.69. Nilai $\frac{di_1}{dt}$ merupakan nilai perubahan arus *input* pada interval waktu tertentu, dimana di_1 merupakan nilai dari *ripple* arus pada sisi *input* (Δi_1), Nilai $\frac{di_2}{dt}$ merupakan nilai perubahan arus *output* pada interval waktu tertentu, dimana di_2 merupakan nilai dari *ripple* arus pada sisi *output* (Δi_2) dan dt merupakan fungsi waktu pada saat saklar dalam kondisi *on*. Sehingga, nilai dt sama dengan nilai t_{on} . Maka, persamaan 2.69 dapat diubah menjadi:

$$V_s = L_1 \cdot \frac{\Delta i_1}{t_{on}} + L_m \cdot \frac{\Delta i_2}{t_{on}} \quad (2.71)$$

$$V_s = L_1 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot i_1}{t_{on}} + L_m \cdot \frac{\lambda_2 \cdot i_2}{t_{on}}$$

Dimana, V_s merupakan tegangan sumber dari rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel yang berupa tegangan searah (DC), L_1 merupakan induktor pada sisi primer, L_m merupakan induktor magnetisasi akibat pengaruh *fluks* pada induktor L_1 . λ_1 merupakan faktor *ripple* untuk arus i_1 sisi *input* dan λ_2 merupakan faktor *ripple* untuk arus i_2 sisi *output*.

$$V_s = L_1 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot I_1}{D \cdot T} + L_m \cdot \frac{\lambda_2 \cdot \frac{1-D}{D} \cdot I_1}{D \cdot T}$$

$$V_s = L_1 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot \frac{P}{V_o \cdot V_s}}{\frac{V_o}{V_o + V_s} \cdot T} + L_m \cdot \frac{\lambda_2 \cdot \frac{(1 - \frac{V_o}{V_o + V_s}) \cdot P}{V_o}}{\frac{V_o}{V_o + V_s} \cdot T}$$

$$V_s = L_1 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot P \cdot (V_o + V_s)}{V_o \cdot V_s \cdot T} + L_m \cdot \frac{\lambda_2 \cdot P \cdot (V_o + V_s)}{V_o^2 \cdot T}$$

$$V_s = L_1 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot P \cdot (V_o + V_s) \cdot fs}{V_o \cdot V_s} + L_m \cdot \frac{\lambda_2 \cdot P \cdot (V_o + V_s) \cdot fs}{V_o^2}$$

$$V_s = \frac{P \cdot (V_o + V_s) \cdot fs}{V_o} \cdot \left(\frac{\lambda_1 \cdot L_1}{V_s} + \frac{\lambda_2 \cdot L_m}{V_o} \right) \quad (2.72)$$

Persamaan di atas merupakan persamaan dengan dua variabel yang tidak diketahui, untuk itu dibutuhkan satu variabel kembali supaya dapat ditentukan nilai L_1 dan L_m .

Kedua akan dilakukan penurunan terhadap persamaan 2.70. Nilai $\frac{di_1}{dt}$ merupakan nilai perubahan arus *input* pada interval waktu tertentu, dimana di_1 merupakan nilai dari *ripple* arus pada sisi *input* (Δi_1), Nilai $\frac{di_2}{dt}$ merupakan nilai perubahan arus *output* pada interval waktu tertentu, dimana di_1 merupakan nilai dari *ripple* arus pada sisi *output* (Δi_2) dan dt merupakan fungsi waktu pada saat saklar dalam kondisi *off*. Sehingga, nilai dt sama dengan nilai t_{off} .

$$V_o = L_m \cdot \frac{\Delta i_1}{t_{off}} + L_2 \cdot \frac{\Delta i_2}{t_{off}} \quad (2.73)$$

Sesuai dengan persyaratan induktor terkopel, maka nilai L_m pada persamaan 2.73 dapat diubah dengan L_2 sesuai dengan persamaan 2.65. Maka, persamaan 2.73 menjadi :

$$V_o = L_2 \cdot \frac{\Delta i_1}{t_{off}} + L_2 \cdot \frac{\Delta i_2}{t_{off}}$$

$$V_o = L_2 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot i_1}{(1-D) \cdot T} + L_2 \cdot \frac{\lambda_2 \cdot i_2}{(1-D) \cdot T}$$

$$V_o = L_2 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot i_1}{(1-D) \cdot T} + L_2 \cdot \frac{\lambda_2 \cdot \frac{1-D}{D} \cdot i_1}{(1-D) \cdot T}$$

$$V_o = L_2 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot \frac{P}{V_o}}{(1 - \frac{P}{V_o + V_s}) \cdot T} + L_2 \cdot \frac{\lambda_2 \cdot \frac{P}{V_s}}{\frac{V_o}{V_o + V_s} \cdot T}$$

$$V_o = L_2 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot P \cdot (V_o + V_s)}{V_o \cdot V_s \cdot T} + L_2 \cdot \frac{\lambda_2 \cdot P \cdot (V_o + V_s)}{V_s^2 \cdot T}$$

$$V_o = \frac{L_2 \cdot P \cdot (V_o + V_s) \cdot f_s}{V_s} \cdot \left(\frac{\lambda_1}{V_o} + \frac{\lambda_2}{V_s} \right) \quad (2.74)$$

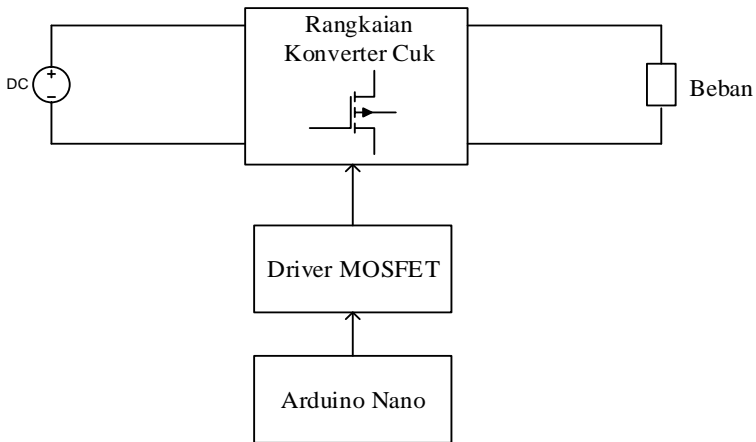
Dengan memindahuaskan persamaan 2.74, maka akan didapatkan persamaan baru untuk mengetahui nilai dari induktor L_2 .

$$L_2 = \frac{V_o \cdot V_s}{P \cdot (V_o + V_s) \cdot f_s} \cdot \frac{1}{\left(\frac{\lambda_1}{V_o} + \frac{\lambda_2}{V_s} \right)} \quad (2.75)$$

BAB 3

DESAIN DAN IMPLEMENTASI

Pada bab 3 ini akan dibahas mengenai desain konverter cuk dengan metode konvensional dan metode induktor terkopel. Penggunaan 2 metode ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik konverter cuk dengan induktor terkopel, bahwa penggunaan induktor terkopel dapat mengurangi *ripple* pada arus masukan. Proses menentukan desain konverter cuk berdasarkan pada penurunan rumus parameter yang telah dibahas pada bab 2. Setelah mengetahui nilai dari semua parameter, rangkaian konverter cuk ini akan disimulasikan untuk mengetahui apakah rangkaian dapat berjalan dengan baik atau tidak serta mengamati bentuk gelombang yang terbentuk pada proses pensaklaran dan *ripple* yang dihasilkan oleh arus masukan. Simulasi ini digunakan sebagai metode pembandingan dalam melakukan implementasi ke *prototype* konverter cuk. Secara umum, diagram blok rangkaian konverter cuk adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Blok Rangkaian Konverter Cuk

3.1. Desain Konverter Cuk Konvensional

Desain konverter awal yaitu menentukan parameter tegangan *input*, frekuensi *switching*, faktor *ripple* arus dan tegangan, serta daya. Desain

parameter awal ini bertujuan untuk menentukan nilai dari beban, induktor dan kapasitor. Desain awal ini juga ditinjau dari alat yang ada di laboratorium dan kondisi komponen yang ada di pasaran. Sehingga akan mempermudah dalam melakukan implementasi ini. Berikut adalah tabel mengenai desain parameter awal rangkaian.

Tabel 3.1 Desain awal rangkaian

No.	Komponen	Nilai	Satuan
1.	Tegangan <i>Input</i>	24	Volt
2.	Tegangan <i>Output</i>	76	Volt
3.	Daya <i>Output</i>	50	Watt
4.	Frekuensi <i>Switching</i>	62,5	kHz
5.	<i>Ripple</i> Arus Masukan	10	%
6.	<i>Ripple</i> Arus Luaran	11	%
7.	<i>Ripple</i> Tegangan	1	%

Pada desain ini, faktor *ripple* arus masukan dan luaran dibuat berbeda 1% karena pada penentuan nilai induktor terkopel, nilai L_1 dan L_2 harus berbeda sehingga faktor yang dapat digunakan untuk membuat nilai induktor berbeda adalah faktor *ripple*. Tegangan *input* ditentukan 24 volt dengan daya 50 watt. Untuk tegangan *output* ditentukan sebesar 76 volt. Berdasarkan tegangan *input* dan tegangan *output* yang telah ditentukan, maka *duty cycle* yang digunakan pada rangkaian konverter cuk dapat ditentukan dengan persamaan rasio konversi 2.22 yaitu :

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{D}{1-D}$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa tegangan *output* pada rangkaian konverter cuk memiliki polaritas yang berkebalikan dengan tegangan *input*, sehingga dalam perhitungan dapat diabaikan. Substitusikan nilai tegangan *input* dan tegangan *output* pada persamaan di atas

$$\frac{76}{24} = \frac{D}{1-D}$$

$$76 - 76.D = 24.D$$

$$76 = 100.D$$

$$D = 0,76$$

Duty cycle yang ditentukan pada desain rangkaian konverter cuk sebesar 76% dengan frekuensi pensaklaran sebesar 62,5 kHz. Kedua parameter tersebut digunakan untuk membuat program pada arduino yang akan menghasilkan bentuk gelombang persegi (*on-off*).

Selanjutnya akan ditentukan nilai beban yang digunakan pada rangkaian konverter cuk. Berdasarkan tegangan *output* dan daya *output* yang diharapkan, maka beban yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{V_o^2}{R}$$

P = daya (Watt)

R = beban/resistansi (Ohm)

V_o = tegangan *output* (Volt)

Dengan memindahuaskan nilai P dan R , maka didapatkan persamaan untuk menentukan nilai beban (R) adalah

$$R = \frac{V_o^2}{P}$$

Substitusikan nilai daya dan tegangan *output* pada persamaan di atas, sehingga menjadi sebagai berikut :

$$R = \frac{76^2}{50}$$

$$R = 115,52 \text{ Ohm}$$

Pada desain rangkaian konverter cuk konvensional ini terdapat dua buah induktor tunggal pada sisi *input* dan pada sisi *output*. Untuk menentukan nilai kedua induktor tersebut digunakan persamaan yang telah dibahas pada bab 2. Induktor sisi *input* (L_1) dapat ditentukan dengan persamaan 2.30, yaitu :

$$L_1 = \frac{V_s^2 \cdot V_o}{\lambda \cdot P \cdot fs \cdot (V_o + V_s)}$$

V_s = tegangan *input* (Volt)
 V_o = tegangan *output* (Volt)
 λ = faktor *ripple*
 P = daya (Watt)
 fs = frekuensi *switching* (Hz)

Faktor *ripple* yang digunakan pada desain induktor L_1 adalah faktor *ripple* pada sisi arus masukan yaitu 10%. Dengan menyubstitusikan parameter pada tabel 3.1, maka nilai L_1 dapat ditentukan sebagai berikut :

$$L_1 = \frac{24^2 \cdot 76}{0,150.62500 \cdot (76 + 24)}$$

$$L_1 = 1,4 \text{ mH}$$

Induktor sisi *output* (L_2) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.41, yaitu

$$L_2 = \frac{V_s \cdot V_o^2}{\lambda \cdot P \cdot fs \cdot (V_o + V_s)}$$

Faktor *ripple* yang digunakan pada desain induktor L_2 adalah faktor *ripple* pada sisi *output* luaran yaitu 11%. Dengan menyubstitusikan parameter pada tabel 3.1, maka didapatkan nilai L_2 adalah sebagai berikut :

$$L_2 = \frac{24 \cdot 76^2}{0,11.50.62500 \cdot (76 + 24)}$$

$$L_2 = 4,03 \text{ mH}$$

Kemudian akan ditentukan nilai kapasitor pada rangkaian konverter cuk. Terdapat dua kapasitor pada rangkaian konverter cuk, yaitu kapasitor pentransfer tegangan dan kapasitor *filter* pada sisi *output*. Kapasitor pentransfer tegangan dapat ditentukan dengan persamaan 2.47, yaitu sebagai berikut :

$$C_1 = \frac{P}{\lambda \cdot f_s \cdot (V_o + V_s)^2}$$

Faktor *ripple* yang digunakan pada persamaan diatas adalah faktor *ripple* tegangan dengan nilai 1%. Dengan menyubstitusikan parameter pada tabel 3.1 dapat ditentukan nilai C_1 sebagai berikut

$$C_1 = \frac{50}{0,1.62500 \cdot (76 + 24)^2}$$

$$C_1 = 8 \mu F$$

Sedangkan untuk menentukan kapasitor *filter* pada sisi tegangan *output* dapat digunakan persamaan 2.50

$$C_2 = i_2 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot \lambda \cdot V_o}$$

Nilai i_2 merupakan nilai arus pada sisi *output*. Nilai i_2 merupakan pembagian antara daya (P) dengan tegangan *output* (V_o), sehingga persamaan di atas dapat diubah menjadi :

$$C_2 = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot \lambda \cdot V_o^2}$$

Faktor *ripple* yang digunakan adalah faktor *ripple* tegangan yang nilainya sebesar 10%. Sehingga, dengan menyubstitusikan parameter pada tabel 3.1, didapatkan nilai kapasitor *filter* adalah

$$C_2 = \frac{50}{2.3,14.62500.0,1.76^2}$$

$$C_2 = 2,2 \mu F$$

Tabel 3.2 Parameter rangkaian konverter cuk konvensional

No.	Komponen	Nilai	Satuan
1.	Tegangan <i>Input</i>	24	Volt
2.	Tegangan <i>Output</i>	76	Volt
3.	Daya	50	Watt
4.	Frekuensi <i>Switching</i>	62,5	kHz
5.	<i>Ripple</i> Arus Masukan	10	%
6.	<i>Ripple</i> Arus Luaran	11	%
7.	<i>Ripple</i> Tegangan	1	%
8.	Induktor L_1	1,4	mH
9.	Induktor L_2	4,03	mH
10.	Beban	115,52	Ω
11.	Kapasitor Pentransfer	8	μF
12.	Kapasitor <i>Filter</i>	2,2	μF

3.2. Desain Konverter Cuk dengan Induktor Terkopel

Desain rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel sama dengan rangkaian konverter cuk konvensional. Hal yang membedakan pada metode induktor terkopel terdapat pada sisi induktor. Pada rangkaian konvensional menggunakan dua induktor tunggal yang dirangkai pada inti besi yang berbeda-beda. Sedangkan pada metode induktor terkopel digunakan dua buah induktor yang dibelit pada satu inti yang sama. Penentuan nilai induktor L_1 dan L_2 pada metode induktor terkopel dapat menggunakan persamaan 2.72 dan 2.75. Nilai faktor *ripple* antara arus masukan dan luaran dibedakan karena akan didesain konverter cuk dengan induktor terkopel agar mendapatkan nilai induktor L_1 lebih besar dari induktor L_2 untuk mendapatkan nilai reduksi *ripple* pada arus masukan. Pertama akan dicari nilai induktor L_2 dengan menggunakan persamaan 2.75 sebagai berikut :

$$L_2 = \frac{V_o \cdot V_s}{P \cdot (V_o + V_s) \cdot fs} \cdot \frac{1}{\left(\frac{\lambda_1}{V_o} + \frac{\lambda_2}{V_s}\right)}$$

V_s = tegangan *input* (volt)
 V_o = tegangan *output* (volt)
 λ = faktor *ripple*
 P = daya (watt)

f_s = frekuensi *switching* (Hz)
 λ_1 = faktor *ripple* arus masukan
 λ_2 = faktor *ripple* arus luaran

dengan menyubstitusikan parameter pada tabel 3.1, maka akan didapatkan nilai induktor L_2 adalah sebagai berikut

$$L_2 = \frac{76.24}{50. (76 + 24). 62500} \cdot \frac{1}{(\frac{0,10}{76} + \frac{0,11}{24})}$$

$$L_2 = 989,435 \mu H$$

Kemudian akan ditentukan nilai L_1 dengan menggunakan persamaan 2.72 sebagai berikut

$$V_s = \frac{P. (V_o + V_s). f_s}{V_o} \cdot (\frac{\lambda_1. L_1}{V_s} + \frac{\lambda_2. L_m}{V_o})$$

Pada persamaan di atas terdapat nilai L_m yang merupakan induktansi magnetisasi. Sesuai dengan persamaan pada 2.65 bahwa nilai induktansi magnetisasi sama dengan nilai induktor L_2 , sehingga persamaan di atas dapat digunakan untuk menentukan nilai L_1 . Dengan menyubstitusikan nilai L_2 dan parameter pada tabel 3.1, maka dapat ditentukan nilai L_1 adalah sebagai berikut :

$$24 = \frac{50. (76 + 24). 62500}{76} \cdot (\frac{0,10. L_1}{24} + \frac{0,11. 989,435. 10^{-6}}{V_o})$$

$$24 = 4111842,105. (\frac{0,1. L_1}{24} + 1,432. 10^{-6})$$

$$5,8368. 10^{-6} = (\frac{0,1. L_1}{24} + 1,432. 10^{-6})$$

$$4,4048. 10^{-6} = \frac{0,1. L_1}{24}$$

$$L_1 = 1,057 mH$$

Nilai kapasitor pada metode induktor terkopel sama dengan metode konvensional. Sehingga, semua parameter konverter cuk dengan kopling induk adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Parameter rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel

No.	Komponen	Nilai	Satuan
1.	Tegangan <i>Input</i>	24	Volt
2.	Tegangan <i>Output</i>	76	Volt
3.	Daya	50	Watt
4.	Frekuensi <i>Switching</i>	62,5	kHz
5.	<i>Ripple</i> Arus Masukan	10	%
6.	<i>Ripple</i> Arus Luaran	11	%
7.	<i>Ripple</i> Tegangan	1	%
8.	Induktor L_1	1,057	mH
9.	Induktor L_2	989,435	μ H
10.	Induktor Magnetisasi L_m	989,435	μ H
11.	Beban	115,52	Ω
12.	Kapasitor Pentransfer	8	μ F
13.	Kapasitor <i>Filter</i>	2,2	μ F

3.3. Permodelan Induktor Terkopel

Permodelan induktor terkopel digunakan untuk menyimulasikan pada *software*. Permodelan yang digunakan adalah metode *Cantilever* seperti yang telah dijelaskan pada bab 2. Permodelan *Cantilever* menggunakan transformator ideal yang diparalel dengan induktor magnetisasi dan diseri dengan induktor bocor atau *leakage inductance*. Parameter yang dicari pada permodelan *Cantilever* ini adalah nilai dari induktor bocor (L_k), induktor magnetisasi (L_m) dan perbandingan antara nilai induktor sisi sekunder dengan induktor magnetisasi (N_e).

Pertama yang harus dicari adalah nilai dari koefisien kopling yang dilambangkan dengan k . Sesuai dengan persamaan 2.54, secara matematis nilai dari koefisien kopling adalah

$$k = \frac{L_m}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

Dimana L_m merupakan induktor magnetisasi, L_1 merupakan induktor sisi primer dan L_2 merupakan induktor sisi sekunder. Sesuai dengan judul

pada tugas akhir ini akan diperoleh reduksi *ripple* arus masukan dengan metode induktor terkopel, maka sesuai dengan teori pada bab 2, nilai L_m sama dengan nilai L_2 . Sehingga persamaan di atas dapat dituliskan kembali menjadi

$$k = \frac{L_2}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

$$k = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

Substitusikan nilai L_2 dan L_1 pada tabel 3.3 ke persamaan di atas, sehingga nilai k dapat diketahui

$$k = \sqrt{\frac{989,435 \cdot 10^{-6}}{1,057 \cdot 10^{-3}}}$$

$$k = 0,9675$$

Nilai koefisien kopling yang dihasilkan sebesar 0,9675. Hal ini sesuai dengan teori bahwa untuk mendapatkan reduksi *ripple* arus masukan, nilai koefisien kopling kurang dari 1 sesuai dengan persamaan 2.66. Selanjutnya akan dicari nilai induktor bocor atau *leakage inductance* dengan persamaan

$$L_k = L_1 \cdot (1 - k^2)$$

Substitusikan nilai koefisien kopling dan nilai induktor L_1 pada tabel 3.3 ke persamaan di atas, dan didapatkan nilai L_k sebagai berikut

$$L_k = 1,057 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0,9675^2)$$

$$L_k = 67,588 \mu H$$

Nilai L_k ini akan digunakan untuk menentukan nilai induktor magnetisasi L_m sesuai dengan persamaan 2.58, yaitu

$$L_m = L_1 - L_k$$

Substitusikan nilai induktor L_1 dan nilai L_k pada persamaan di atas, sehingga akan didapatkan nilai induktor magnetisasi sebagai berikut

$$L_m = 1,057.10^{-3} - 67,588.10^{-6}$$

$$L_m = 989,412 \mu H$$

Nilai induktor magnetisasi adalah 989,412 μH yang hampir sama dengan nilai induktor L_2 989,435 μH . Hal ini telah sesuai dengan teori bahwa untuk mendapatkan reduksi *ripple* pada arus masukan nilai induktor magnetisasi sama dengan nilai induktor L_2 sesuai dengan teori pada bab 2 dan persamaan 2.65. Kemudian akan dicari nilai N_e yang merupakan perbandingan belitan pada induktor L_2 dengan induktor magnetisasi sesuai dengan persamaan 2.59 sebagai berikut :

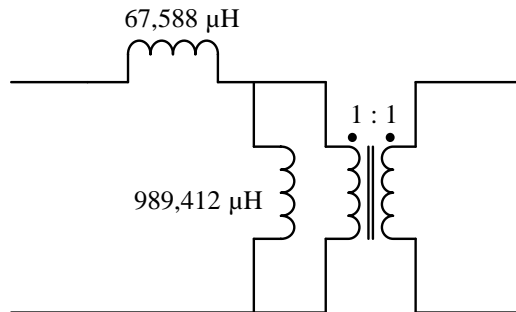
$$N_e = \sqrt{\frac{L_2}{L_m}}$$

Substitusikan nilai induktor L_2 dan nilai L_m pada persamaan di atas, sehingga diperoleh nilai N_e adalah sebagai berikut :

$$N_e = \sqrt{\frac{989,435.10^{-6}}{989,412.10^{-6}}}$$

$$N_e = 1$$

Setelah mengetahui semua nilai pada parameter permodelan induktor terkopel, maka dapat digambarkan sebagai berikut :

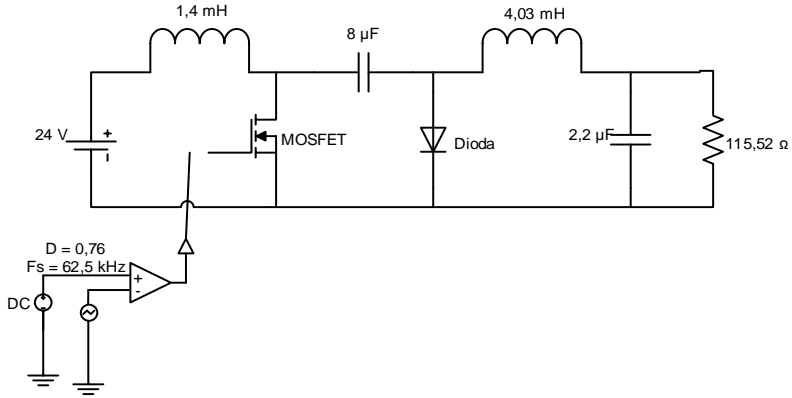


Gambar 3.2 Permodelan induktor terkopel

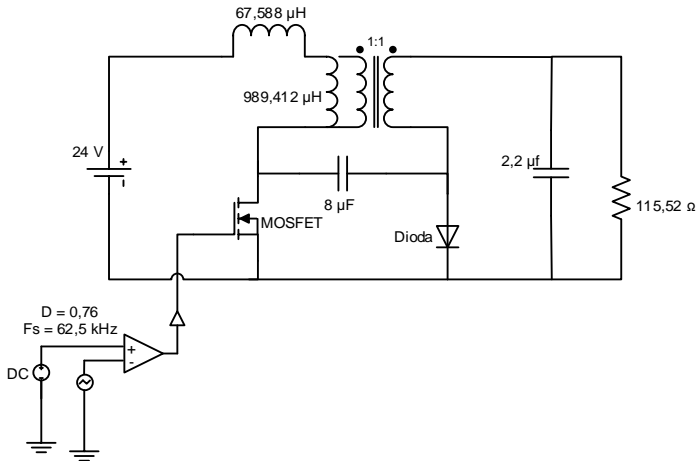
3.4. Simulasi

Simulasi digunakan untuk mengetahui apakah rangkaian dapat berjalan atau tidak. Simulasi ini bertujuan untuk membandingkan nilai *ripple* arus masukan pada rangkaian konverter cuk konvensional dengan rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel. Sesuai teori yang telah dijelaskan bahwa dengan parameter awal yang sama yaitu tegangan *input*, tegangan *output*, frekuensi *switching*, daya, faktor *ripple* arus masukan, faktor *ripple* arus keluaran, faktor *ripple* tegangan, maka akan didapatkan nilai konstruksi induktor terkopel akan lebih kecil daripada nilai induktor tunggal pada metode konvensional. Selain itu, nilai *ripple* yang dihasilkan oleh rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel akan lebih rendah dari pada rangkaian konverter cuk konvensional.

Oleh karena itu, pada tahap simulasi ini, akan dibuat dua buah rangkaian simulasi sebagai media pembandingan. Simulasi pertama merupakan simulasi rangkaian konverter cuk konvensional yang menggunakan dua induktor tunggal seperti pada gambar 3.3. Simulasi kedua merupakan simulasi rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel dimana induktor terkopel akan disimulasikan dengan permodelan *cantilever*. Gambar 3.3 merupakan rangkaian konverter cuk konvensional dan gambar 3.4 merupakan rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel.



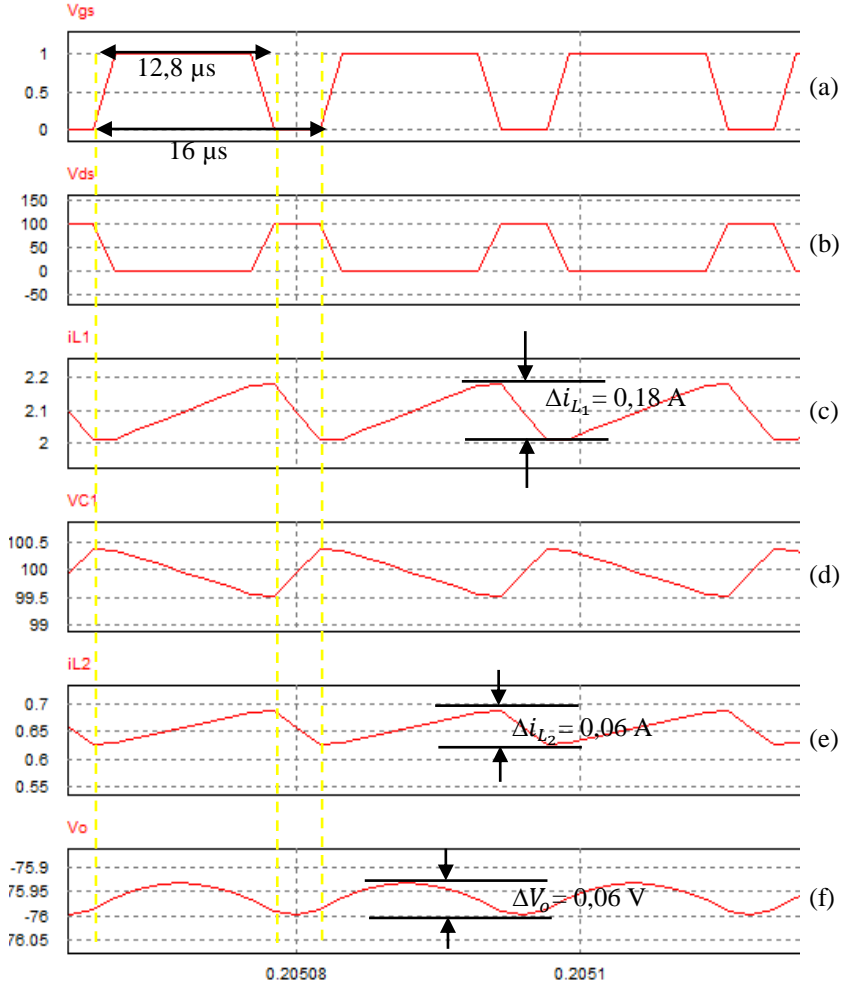
Gambar 3.3 Simulasi konverter cuk konvensional



Gambar 3.4 Simulasi konverter cuk metode induktor terkopel

Pada simulasi pertama yaitu rangkaian konverter cuk konvensional akan diamati bentuk gelombang pensaklaran yaitu gelombang tegangan *gate-source* (V_{GS}) dan *drain-source* (V_{DS}), arus pada sisi induktor *input* (i_{L_1}), tegangan pada kapasitor pentransfer tegangan (V_{C_1}), arus pada sisi induktor *output* (i_{L_2}) dan tegangan *output* (V_o). Nilai parameter yang

digunakan pada simulasi seperti pada tabel 3.2. Untuk dioda dan MOSFET sendiri digunakan dalam kondisi ideal. Berikut adalah bentuk gelombang pada rangkaian konverter cuk konvensional.



Gambar 3.5 Gelombang arus dan tegangan metode konvensional.

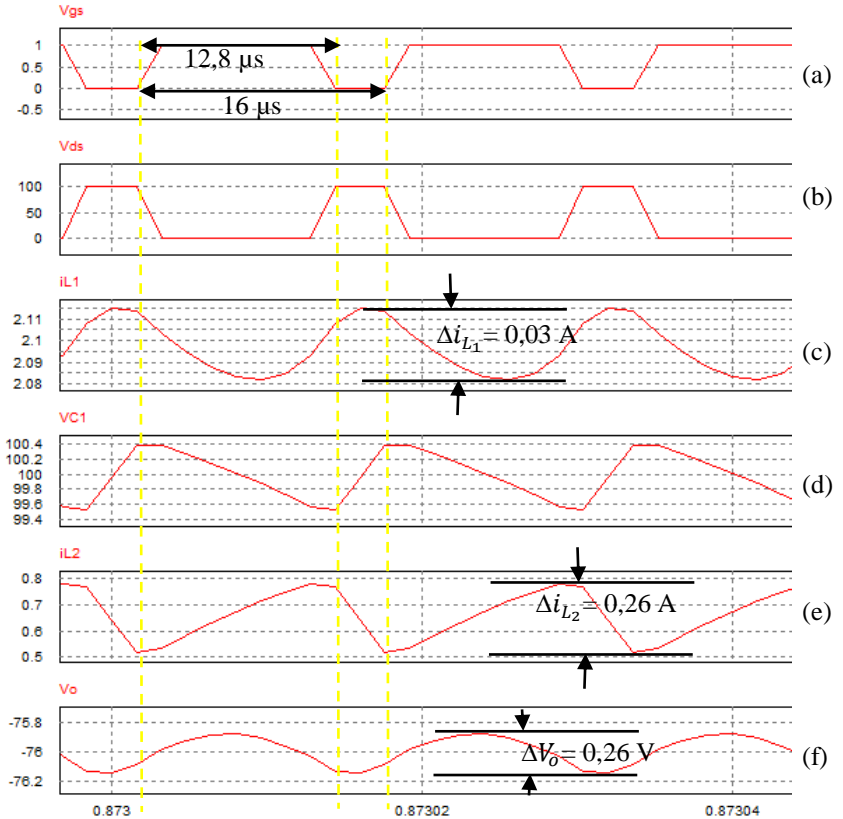
(a) gelombang V_{GS} , (b) gelombang V_{DS} , (c) gelombang i_{L1} , (d) gelombang V_{C1} , (e) gelombang i_{L2} , (f) gelombang V_o

Gambar 3.5 di atas merupakan gambar bentuk gelombang tegangan *gate-source* (V_{GS}) dan *drain-source* (V_{DS}), arus pada sisi induktor *input* (i_{L_1}), tegangan pada kapasitor pentransfer tegangan (V_{C_1}), arus pada sisi induktor *output* (i_{L_2}) dan tegangan *output* (V_o). Dapat dianalisa bahwa, apabila saklar dalam kondisi *on*, maka akan terbentuk gelombang V_{GS} dalam keadaan aktif dan gelombang V_{DS} dalam keadaan *off*. Pada kondisi ini, induktor L_1 dalam kondisi *charging* yang mendapat energi dari sumber tegangan, kapasitor pentransfer tegangan C_1 dalam kondisi *discharging* dan memberikan energi ke induktor L_2 (*charging*).

Sedangkan pada saat saklar dalam kondisi *off*, maka gelombang V_{GS} akan *off* dan gelombang V_{DS} akan aktif. Induktor L_1 akan mengalami *discharging*, kapasitor pentransfer tegangan C_1 akan mengalami *charging* yang mendapat energi dari induktor L_1 dan induktor L_2 akan mengalami *discharging*. Hal ini sesuai dengan teori yang telah dibahas pada bab 2.

Dari gambar 3.4 juga dapat dilihat bahwa, nilai *ripple* arus masukan sebesar 0,18 A dengan arus rata-rata sebesar 2,09 A. Sehingga persentase *ripple* sebesar 8,6%. Untuk nilai *ripple* arus keluaran sebesar 0,06 A dengan nilai arus rata-rata sebesar 0,66. Sehingga persentase *ripple* sebesar 9,09%. Sedangkan untuk nilai *ripple* tegangan keluaran sebesar 0,06 V dengan nilai tegangan rata-rata 75,96 V. Sehingga, persentase *ripple* tegangan keluaran yang terbentuk sebesar 0,078%.

Simulasi kedua adalah rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel. Parameter yang digunakan pada rangkaian sesuai dengan tabel 3.3. Pada simulasi ini akan diamati bentuk gelombang pensaklaran yaitu gelombang tegangan *gate-source* (V_{GS}) dan *drain-source* (V_{DS}), arus pada sisi induktor *input* (i_{L_1}), tegangan pada kapasitor pentransfer tegangan (V_{C_1}), arus pada sisi induktor *output* (i_{L_2}) dan tegangan *output* (V_o). Nilai parameter yang digunakan pada simulasi seperti pada tabel 3.2. Untuk dioda dan MOSFET sendiri digunakan dalam kondisi ideal. Berikut adalah bentuk gelombang pada rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel.



Gambar 3.6 Bentuk gelombang dengan metode induktor terkopel.

(a) gelombang V_{GS} , (b) gelombang V_{DS} , (c) gelombang i_{L1} , (d) gelombang V_{C1} , (e) gelombang i_{L2} , (f) gelombang V_o

Gambar 3.6 di atas merupakan gambar bentuk gelombang tegangan *gate-source* (V_{GS}) dan *drain-source* (V_{DS}), arus pada sisi induktor *input* (i_{L1}), tegangan pada kapasitor pentransfer tegangan (V_{C1}), arus pada sisi induktor *output* (i_{L2}) dan tegangan *output* (V_o). Dapat dianalisa bahwa, apabila saklar dalam kondisi *on*, maka akan terbentuk gelombang V_{GS} dalam keadaan aktif dan gelombang V_{DS} dalam keadaan *off*. Pada kondisi ini, induktor L_1 dalam kondisi *charging* dan *discharging*. Dapat dilihat pula bahwa gelombang arus masukan

mengalami pergeseran yang diakibatkan penggunaan induktor terkopel. Kapasitor pentransfer tegangan C_1 dalam kondisi *discharging* dan memberikan energi ke induktor L_2 (*charging*).

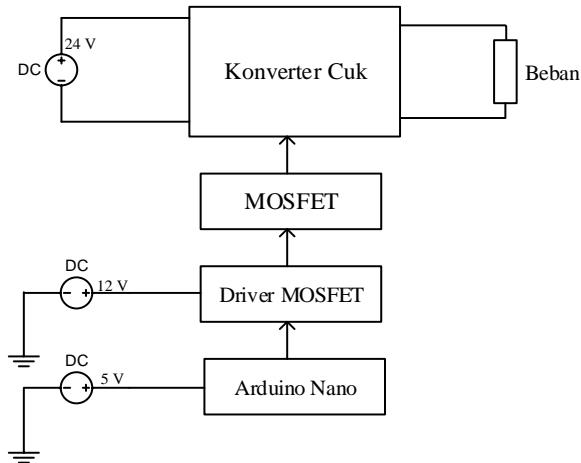
Sedangkan pada saat saklar dalam kondisi *off*, maka gelombang V_{GS} akan *off* dan gelombang V_{DS} akan aktif. Karena adanya pergeseran paa arus masukan, maka pada kondisi ini arus masukan akan mengalami *discharging* dan *charging*. Kapasitor pentransfer tegangan C_1 akan mengalami *charging* yang mendapat energi dari induktor L_1 dan induktor L_2 akan mengalami *discharging*.

Dari gambar 3.6 juga dapat dilihat bahwa, nilai *ripple* arus masukan sebesar 0,03 A dengan arus rata-rata sebesar 2,09 A. Sehingga persentase *ripple* sebesar 1,4%. Untuk nilai *ripple* arus keluaran sebesar 0,26 A dengan nilai arus rata-rata sebesar 0,67. Sehingga persentase *ripple* sebesar 38,80%. Sedangkan untuk nilai *ripple* tegangan keluaran sebesar 0,26 V dengan nilai tegangan rata-rata 75,99 V. Sehingga, persentase *ripple* tegangan keluaran yang terbentuk sebesar 0,34%.

Dari dua rangkaian di atas dapat diamati bahwa, dengan menggunakan induktor terkopel pada rangkaian konverter cuk akan dapat mengurangi *ripple* arus masukan dari 8,6% menjadi 1,4%.

3.5. Implementasi

Setelah hasil simulasi sesuai dengan teori, maka langkah selanjutnya adalah membuat implementasi dari rangkaian konverter cuk. Rangkaian yang dibuat pada implementasi ini dibedakan menjadi dua tergantung dari induktor yang digunakan. Pertama adalah rangkaian konverter cuk konvensional yang menggunakan dua buah induktor tunggal di sisi *input* dan *output*. Kedua adalah rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel dimana induktor sisi *input* dan *output* dirangkai dalam satu inti besi (*ferrite*) yang sama. Implementasi ini dilakukan untuk mengamati perubahan *ripple* pada arus sisi *input* apabila induktor yang digunakan berbeda. Gambar 3.7 merupakan gambar blok diagram untuk implementasi rangkaian konverter cuk.



Gambar 3.7 Blok diagram rangkaian implementasi

Tahap pertama yaitu pembuatan sinyal *input* MOSFET berupa PWM (*Pulse Wave Modulation*) beserta *driver* MOSFET. PWM merupakan gelombang persegi yang digunakan untuk proses pensaklaran pada MOSFET. MOSFET merupakan salah satu bahan semikonduktor yang digunakan untuk proses *on-off* [10] yang memanfaatkan *duty cycle*. *Driver* MOSFET digunakan untuk membantu MOSFET dalam proses pensaklaran. Untuk menghasilkan sinyal PWM digunakan *microcontroller* *Arduino Nano* dengan tegangan sumber 5 volt. Sinyal PWM yang dihasilkan diatur dengan frekuensi pensaklaran 62,5 kHz dan *duty cycle* 0,76 sesuai dengan yang telah didesain. Program untuk menghasilkan sinyal PWM adalah sebagai berikut :

```

#include <stdio.h>

float duty_cycle;
float inverting;
int out_pwm;

void setup() {
    pinMode(10,OUTPUT);

    TCCR1A = 0b10100001;

```

```

TCCR1B = 0b00001001;

duty_cycle = 76.0;
inverting = duty_cycle;

}

void loop() {

    out_pwm = (float)inverting* 255 /100;
    analogWrite(10, out_pwm);

}

```

Tahap kedua adalah menentukan kapasitor yang akan digunakan pada rangkaian implementasi. Kapasitansi kapasitor yang digunakan tidak bisa sama persis sesuai dengan desain. Hal ini karena kapasitor yang digunakan disesuaikan dengan yang ada di pasaran. Untuk kapasitor pentransfer tegangan digunakan nilai kapasitansi sebesar 10 μF dengan tegangan yang mampu ditahan oleh kapasitor sebesar 250 volt. Sedangkan untuk kapasitor *filter* di sisi *output* digunakan nilai kapasitansi 2,2 μF dengan tegangan yang mampu ditahan sebesar 350 volt.

Tahap ketiga adalah menentukan nilai induktor. Untuk induktor sendiri akan dibuat manual dengan membuat belitan pada inti besi. Jenis inti besi yang digunakan adalah *ferrite* dengan tipe EER dan ETD. EER digunakan untuk mendesain dua buah induktor tunggal (metode konvensional) dan ETD digunakan untuk mendesain induktor terkopel. Berikut adalah rincian pembuatan untuk masing-masing induktor :

1. Induktor L_1 untuk rangkaian konverter cuk konvensional

Inti besi yang digunakan berupa *ferrite* EER 53 tipe F2BD dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.4 Tabel spesifikasi EER 53

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Effective Length</i>	le	105,9	mm
<i>Effective Area</i>	Ae	319,5	mm^2
<i>Effective Permeability</i>	μ_i	743,88	
AL		6200	nH/N^2
<i>Saturation Magnetic Flux Density</i>	B	390	mT

Tabel 3.4 digunakan untuk menentukan jumlah belitan yang akan digunakan untuk membuat induktor. Persamaan untuk menentukan jumlah belitan adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{4 \cdot \pi \cdot N^2 \cdot Ae \cdot 10^{-9}}{lg + \frac{le}{\mu_i}}$$

L = nilai induktansi (H)
 N = jumlah belitan
 Ae = *Effective Area* (mm²)
 le = *Effective Length* (mm)
 lg = gap (mm)

Nilai induktansi pada L_1 rangkaian konverter cuk konvensional sebesar 1,4 mH. Akan digulung pada *ferrite* dengan gap 0,1 mm. Dengan mensubstitusikan parameter pada tabel 3.10 dan , maka akan didapatkan nilai jumlah belitan sebagai berikut [11] :

$$1,4 \cdot 10^{-3} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot N^2 \cdot 319,5 \cdot 10^{-9}}{0,1 + \frac{105,9}{743,88}}$$

$$3,393 \cdot 10^{-4} = 4,012 \cdot 10^{-7} \cdot N^2$$

$$N^2 = 845,7$$

$$N = 29,08$$

Belitan yang digunakan adalah kawat tembaga AWG dengan diameter 0,5 mm yang dirangkai 5 *split* agar mampu menahan arus sebesar 2 A. Belitan ini digulung menggunakan *bobbin* sebanyak 30 gulung dengan gap pada *ferrite* sebesar 0,1 mm untuk mendapatkan nilai induktor sebesar 1,4 mH.

2. Induktor L_2 untuk rangkaian konverter cuk konvensional

Inti besi yang digunakan berupa *ferrite* EER 53 tipe F2BD dengan spesifikasi pada tabel 3.10. Nilai induktansi pada L_2 rangkaian konverter cuk konvensional sebesar 4,03 mH. Akan digulung pada *ferrite* dengan gap 0,1 mm. Dengan mensubstitusikan parameter pada tabel 3.10 dan , maka akan didapatkan nilai jumlah belitan sebagai berikut :

$$4,03 \cdot 10^{-3} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot N^2 \cdot 319,5 \cdot 10^{-9}}{0,1 + \frac{105,9}{743,88}}$$

$$9,767 \cdot 10^{-4} = 4,012 \cdot 10^{-7} \cdot N^2$$

$$N^2 = 2434,4$$

$$N = 49,33$$

Belitan yang digunakan adalah kawat tembaga AWG dengan diameter 0,5 mm yang menahan arus sebesar 0,55 A. Belitan ini digulung pada *bobbin* sebanyak 50 gulung dengan gap pada *ferrite* sebesar 0,1 mm untuk mendapatkan induktor dengan nilai 4,03 mH.

3. Induktor terkopel untuk rangkaian konverter cuk induktor terkopel

Inti besi yang digunakan berupa *ferrite* ETD 49 tipe N87 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.5 Tabel spesifikasi ETD 49

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Effective Length</i>	le	114	mm
<i>Effective Area</i>	Ae	211	mm ²
<i>Effective Permeability</i>	μ_i	670,83	
AL		3800	nH/N ²
<i>Saturation Magnetic Flux Density</i>	B	390	mT

Nilai induktansi pada L_1 rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel sebesar 1,057 mH dan untuk induktansi L_2 sebesar 989,435 μ H akan digulung pada *ferrite* dengan gap 0,1 mm. Dengan mensubstitusikan parameter pada tabel 3.11 dan , maka akan didapatkan nilai jumlah belitan untuk L_1 sebagai berikut :

$$1,057 \cdot 10^{-3} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot N^2 \cdot 211 \cdot 10^{-9}}{0,1 + \frac{114}{670,83}}$$

$$2,853 \cdot 10^{-4} = 2,65 \cdot 10^{-7} \cdot N^2$$

$$N^2 = 1076,6$$

$$N = 32,8$$

Untuk jumlah belitan pada induktor L_2 adalah sebagai berikut :

$$989,435 \cdot 10^{-6} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot N^2 \cdot 211 \cdot 10^{-9}}{0,1 + \frac{114}{670,83}}$$

$$2,67 \cdot 10^{-4} = 2,65 \cdot 10^{-7} \cdot N^2$$

$$N^2 = 1007,5$$

$$N = 31,74$$

Belitan yang digunakan adalah kawat tembaga AWG dengan diameter 0,5 mm. Untuk induktor L_1 dirangkai 5 *split* agar mampu menahan arus sebesar 2 A. Kawat tembaga AWG digulung pada *bobbin* sebanyak 33 gulung dengan gap pada *ferrite* 0,1 mm untuk mendapatkan nilai induktansi 1,057 mH. Sedangkan induktor L_2 menggunakan *single wire* karena AWG dengan diameter 0,5 mm sudah mampu menahan arus sebesar 0,55 A. Kawat tembaga AWG digulung pada lapis kedua setelah induktor L_1 dengan pembatas berupa isolasi sebanyak 31 gulung dengan gap pada *ferrite* sebesar 0,1 mm untuk mendapatkan nilai induktansi 989,435 μ H.

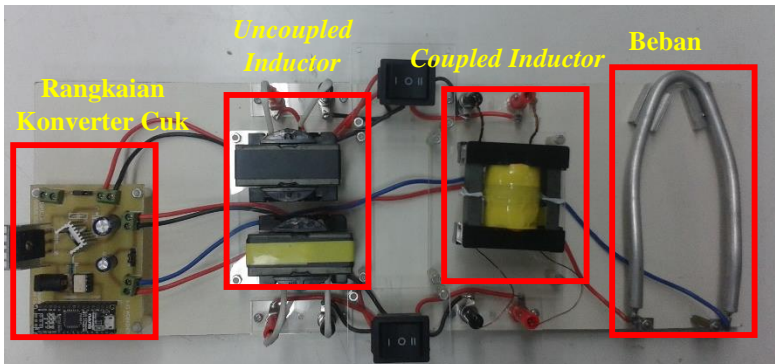
Untuk mendapatkan nilai L_k pada induktor terkopel dapat dilakukan dengan cara menghubungkan belitan induktor L_1 dengan alat ukur dan menghubungsingkatkan induktor L_2 . Sedangkan untuk mengetahui nilai L_m dapat dilakukan dengan perhitungan dengan persamaan 2.58.

Tahap keempat adalah menentukan jenis dioda, MOSFET dan *driver* MOSFET. Diode yang digunakan adalah diode MUR1560 yang memiliki kemampuan *blocking voltage* 600 volt. MOSFET yang digunakan adalah jenis IRFP460 yang mampu menghantarkan arus mencapai 20 A dan tegangan *drain-source* maksimum sebesar 500 volt. Tegangan sumber pada MOSFET sebesar 12 volt DC. *Driver* MOSFET yang digunakan adalah jenis TLP250 dengan tegangan sumber 12 volt DC. Berikut adalah parameter yang akan digunakan pada tahap implementasi :

Tabel 3.6 Tabel komponen implementasi

No.	Komponen	Nilai	Satuan
1	Tegangan Sumber	24	Volt
2	Tegangan <i>Output</i>	76	Volt
3	Daya	41,77	Watt
4	<i>Duty Cycle</i>	0,76	
5	Frekuensi <i>Switching</i>	62,5	kHz
6	Beban	138,28	Ohm
7	Induktor L_1	1,4171	mH
8	Induktor L_2	4,09	mH
9	Induktor terkopel		
	L_1	1,0044	mH
	L_2	962,3	μ H
	L_m	981,01	μ H
	L_k	23,38	μ H
10	Kapasitor C_1	10	μ F
11	Kapasitor C_o	2,2	μ F
12	Dioda	MUR1560	
13	MOSFET	IRFP460	
14	<i>Driver</i> MOSFET	TLP250	

Setelah menentukan komponen implementasi, maka tahap selanjutnya ada merangkai alat. Berikut adalah gambar rangkaian konverter cuk



Gambar 3.8 Rangkaian konverter cuk (1)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

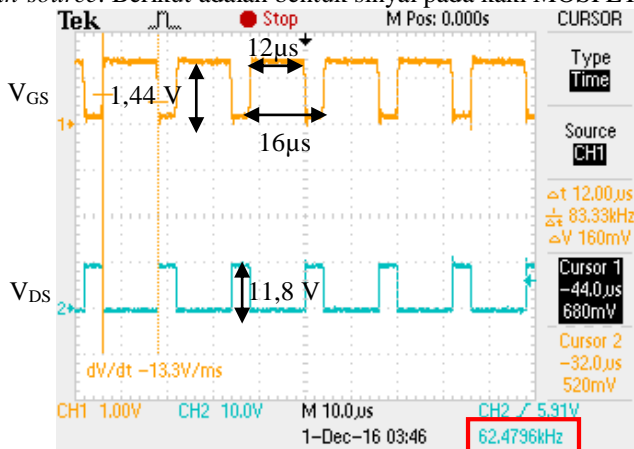
BAB 4

HASIL IMPLEMENTASI DAN ANALISIS

Pada bab 4 akan dibahas mengenai pengujian dan analisis data hasil implementasi konverter cuk. Pengujian yang dilakukan diantaranya pengujian keluaran sinyal *Pulse Wave Modulation* (PWM) dan pensaklaran, pengujian konverter cuk konvensional dan konverter cuk dengan induktor terkopel. Pengujian pada konverter cuk ini akan dibandingkan mengenai hasil dari *ripple* arus masukan. Peralatan pengujian yang digunakan berbasis skala laboratorium. Sumber DC yang digunakan adalah sumber DC variable yang dirangkai paralel. Sehingga akan menghasilkan tegangan 24 volt dengan arus maksimal 10 ampere. Beban yang digunakan adalah elemen setrika dengan spesifikasi tegangan maksimal 220 volt dan daya maksimal 350 watt. Sehingga diperoleh hambatan dengan nilai 138 ohm. Untuk mengamati bentuk gelombang *ripple* pada arus masukan digunakan osiloskop yang ada di laboratorium.

4.1. Pengujian Sinyal PWM dan Pensaklaran

Pengujian sinyal PWM dan pensaklaran bertujuan untuk mengetahui bentuk gelombang sinyal apakah sudah sesuai dengan desain atau belum. Frekuensi *switching* yang digunakan yaitu 62,5 kHz. Pengujian ini diamati sinyal pada kaki MOSFET sisi *gate-source* dan sisi *drain-source*. Berikut adalah bentuk gelombang sinyal pada kaki MOSFET.



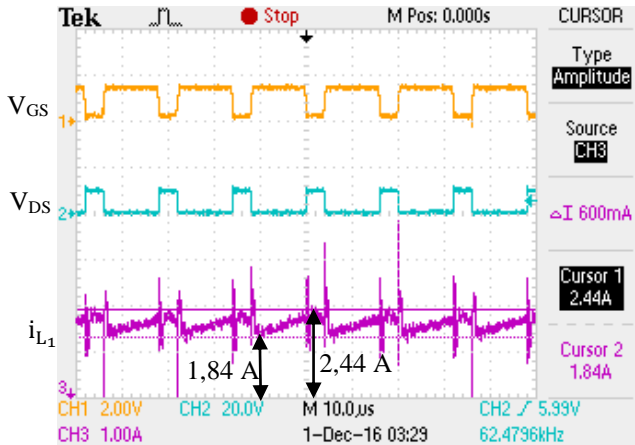
Gambar 4.1 Bentuk gelombang pensaklaran

Frekuensi yang terbentuk pada implementasi sebesar 62,479 kHz yang sebanding dengan periode 16 μ s. Nilai ini sudah mendekati dengan desain yaitu 62,5 kHz. *Duty Cycle* diatur pada nilai 0,76 sehingga akan didapatkan nilai t_{on} sebesar 12 μ s dan t_{off} sebesar 4 μ s dengan periode total satu gelombang 16 μ s. Nilai t_{on} didapatkan dari hasil perkalian antara *duty cycle* dengan periode gelombang.

Dari gambar 4.1 menunjukkan bentuk sinyal pada bagian tegangan *gate-source* (V_{GS}), tegangan *drain-source* (V_{DS}) dan gelombang arus masukan (i_1). Pada saat V_{GS} aktif (t_{on}) maka tegangan V_{DS} akan bernilai nol. Pada kondisi ini, saklar dalam keadaan konduksi atau tertutup sehingga ada arus yang mengalir pada *drain-source*. Pada saat V_{GS} non aktif (t_{off}) maka akan terbentuk tegangan V_{DS} . Dalam kondisi ini saklar terbuka sehingga tidak ada arus yang mengalir pada *drain-source*. Pengujian sinyal PWM dan pensaklaran telah sesuai dengan desain dan simulasi dengan karakteristik yang mendekati desain. Pengujian dapat dilakukan ke pengujian konverter untuk mengamati *ripple* arus masukan.

4.2. Pengujian Konverter Cuk Konvensional

Pengujian konverter cuk konvensional bertujuan untuk mengamati bentuk gelombang *ripple* pada arus masukan dan akan dibandingkan dengan bentuk gelombang *ripple* arus masukan pada konverter cuk dengan induktor terkopel. Pada pengujian arus masukan ini dilakukan pada induktor sisi *input* (L_1). Tegangan sumber yang diberikan sebesar 24 volt dengan *duty cycle* 0,76. Berikut adalah bentuk gelombang arus masukan pada konverter cuk konvensional.



Gambar 4.2 Bentuk gelombang arus masukan metode konvensional

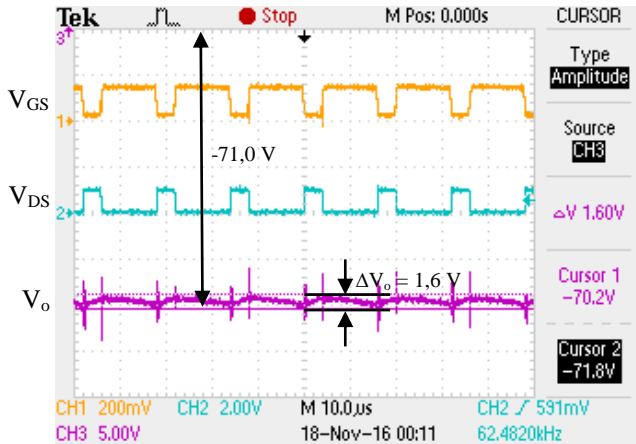
Gambar 4.2 di atas merupakan gambar tegangan *gate-source* (V_{GS}), tegangan *drain-source* (V_{DS}) dan arus masukan. Pada saat V_{GS} aktif atau saklar dalam kondisi tertutup, maka arus pada induktor L_1 akan mengalami *charging*. Hal ini ditunjukkan pada bentuk gelombang yang mengalami peningkatan. Sedangkan pada saat V_{GS} non aktif atau saklar dalam kondisi terbuka, maka arus pada induktor L_1 akan mengalami *discharging*. Hal ini ditunjukkan dengan bentuk gelombang arus yang mengalami penurunan. Kenaikan dan penurunan arus induktor ini yang disebut dengan *ripple* arus induktor.

Sesuai dengan judul pada tugas akhir ini, hal yang akan diamati pada konverter cuk ini adalah *ripple* arus masukan. Pada gambar 4.2 di atas dapat diamati bahwa nilai arus masukan pada saat *charging* menunjukkan nilai maksimal sebesar 2,44 A. Sedangkan pada saat *discharging* menunjukkan arus minimal sebesar 1,84 A. Selisih perbedaan nilai maksimal dan minimal inilah yang dapat dikatakan sebagai *ripple* arus masukan. *Ripple* arus masukan yang terbentuk sebesar 0,6 A. Nilai rata-rata arus masukan yang dihasilkan pada konverter ini sebesar 1,78 A. Apabila nilai *ripple* arus masukan dibandingkan dengan arus rata-rata, maka akan didapatkan nilai persentase *ripple* arus masukan sebesar 33,70 %.

Nilai persentase *ripple* yang ditunjukkan pada implementasi berbeda dengan desain. Pada desain, nilai *ripple* sebesar 10%. Salah satu penyebab meningkatnya nilai *ripple* ini adalah rancang bangun pada

induktor dan komponen yang digunakan tidak mampu dengan frekuensi tinggi yaitu 62,5 kHz.

Selain mengamati bentuk gelombang *ripple* pada arus masukan, tegangan keluaran atau tegangan *output* pada rangkaian juga diamati apakah sudah sesuai dengan desain atau belum. Berikut adalah gambar bentuk gelombang pada tegangan *output*.



Gambar 4.3 Bentuk gelombang tegangan *output* metode konvensional

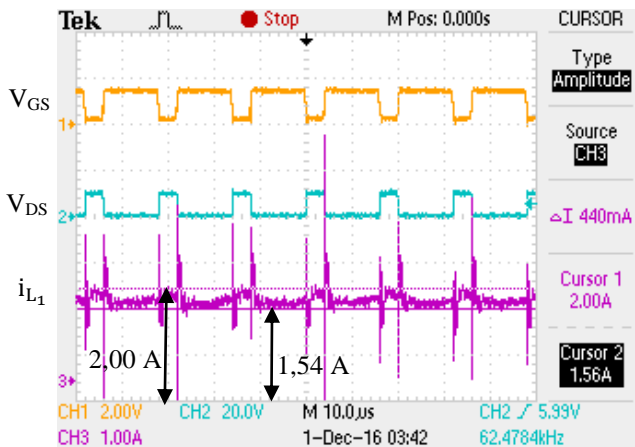
Gambar 4.3 menunjukkan bentuk gelombang tegangan *output*. Tegangan *output* rata-rata yang dihasilkan pada rangkaian implementasi sebesar -71,0 volt. Tanda minus merupakan karakteristik dari rangkaian konverter cuk dimana polaritas tegangan *output* akan berkebalikan dengan tegangan *input*. Hal ini sesuai dengan teori yang telah dijelaskan pada bab 2. Tegangan yang dihasilkan berbeda 5 volt dari desain. Hal ini dikarenakan adanya *drop* tegangan pada MOSFET dan dioda. Komponen MOSFET dan dioda yang digunakan pada simulasi merupakan komponen ideal sehingga tidak ada pengaruh *drop* tegangan.

Ripple tegangan *output* pada rangkaian dihasilkan akibat proses pensaklaran pada MOSFET. Pada saat V_{GS} aktif atau saklar dalam kondisi tertutup, maka akan terbentuk tegangan *output* dengan gelombang menurun (*discharging*) dengan nilai *peak* maksimal sebesar -71,8 volt. Sedangkan pada saat V_{GS} non aktif atau saklar dalam kondisi terbuka, maka akan terbentuk tegangan *output* dengan gelombang meningkat (*charging*) dengan nilai *peak* minimum sebesar -70,2 volt. Selisih antara

tegangan *peak* maksimum dan *peak* minimum sebesar 1,6 V. Nilai inilah yang merupakan *ripple* dari tegangan *output*. Apabila nilai *ripple* tegangan *output* dibandingkan dengan nilai rata-rata tegangan *output*, maka akan didapatkan persentase *ripple* tegangan *output* sebesar 2,25%. Nilai ini sudah mendekati desain, dimana desain persentase *ripple* adalah 1%. Kenaikan nilai *ripple* ini dapat diakibatkan jenis komponen yang digunakan sebagai *filter* (kapasitor *filter*) mempunyai nilai yang tidak murni 2,2 μF .

4.3. Pengujian Konverter Cuk dengan Induktor Terkopel

Pengujian selanjutnya adalah pengujian konverter cuk dengan induktor terkopel. Pengujian ini dilakukan untuk menjawab judul pada tugas akhir ini apakah dengan menggunakan metode induktor terkopel nilai *ripple* arus masukan akan turun daripada menggunakan metode konvensional. Parameter yang digunakan pada rangkaian ini sama dengan metode konvensional yaitu dengan tegangan sumber 24 volt dan *duty cycle* 0,76. Hal yang membedakan metode ini hanya pada sisi induktor yang digunakan. Pada metode konvensional menggunakan dua buah induktor tunggal, sedangkan pada metode ini menggunakan induktor terkopel. Berikut adalah bentuk gelombang arus masukan pada konverter cuk dengan induktor terkopel.



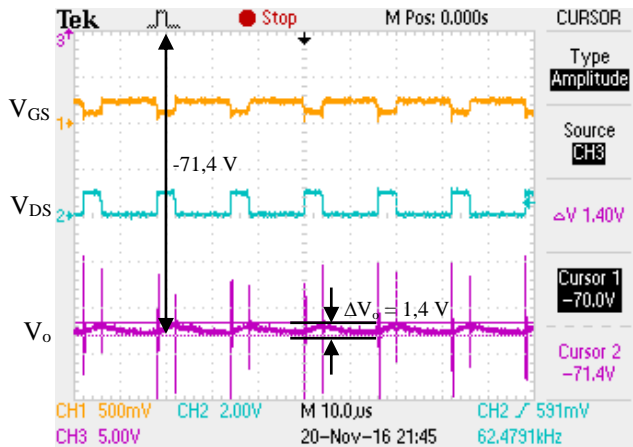
Gambar 4.4 Bentuk gelombang arus masukan metode induktor terkopel

Gambar 4.4 tersebut merupakan gambar tegangan *gate-source* (V_{GS}), tegangan *drain-source* (V_{DS}) dan arus masukan. Sama halnya dengan metode konvensional, pada saat V_{GS} aktif atau saklar dalam kondisi tertutup, maka arus pada induktor L_1 akan mengalami *charging*. Hal ini ditunjukkan pada bentuk gelombang yang mengalami peningkatan. Sedangkan pada saat V_{GS} non aktif atau saklar dalam kondisi terbuka, maka arus pada induktor L_1 akan mengalami *discharging*. Hal ini ditunjukkan dengan bentuk gelombang arus yang mengalami penurunan. Kenaikan dan penurunan arus induktor ini yang disebut dengan *ripple* arus induktor.

Pada gambar 4.4 di atas dapat diamati bahwa nilai arus masukan pada saat *charging* menunjukkan nilai maksimal sebesar 2,00 A. Sedangkan pada saat *discharging* menunjukkan arus minimal sebesar 1,56 A. Selisih perbedaan nilai maksimal dan minimal inilah yang dapat dikatakan sebagai *ripple* arus masukan. *Ripple* arus masukan yang terbentuk sebesar 0,44 A. Nilai rata-rata arus masukan yang dihasilkan pada konverter ini sebesar 1,74 A. Apabila nilai *ripple* arus masukan dibandingkan dengan arus rata-rata, maka akan didapatkan nilai persentase *ripple* arus masukan sebesar 25,28 %.

Nilai *ripple* yang terbentuk pada rangkaian implementasi berbeda dengan desain. Faktor yang mempengaruhi kenaikan *ripple* ini adalah rancang bangun induktor yang dibuat dan komponen yang digunakan tidak mampu dengan frekuensi tinggi yaitu 62,5 kHz.

Tegangan *output* pada rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel juga diamati apakah nilai *duty cycle* yang digunakan sudah mampu meningkatkan tegangan sumber dari 24 volt menjadi 76 volt sesuai dengan desain. Berikut adalah bentuk gelombang tegangan *output* pada rangkaian konverter cuk dengan induktor terkopel.



Gambar 4.5 Bentuk gelombang tegangan *output* metode induktor terkopel

Pada rangkain konverter cuk dengan induktor terkopel, tegangan *output* rata-rata yang dihasilkan pada rangkaian implementasi sebesar -70,8 volt. Tanda minus merupakan karakteristik dari rangkaian konverter cuk dimana polaritas tegangan *output* akan berkebalikan dengan tegangan *input*. Hal ini sesuai dengan teori yang telah dijelaskan pada bab 2. Tegangan yang dihasilkan berbeda 5,2 volt dari desain. Hal ini dikarenakan adanya *drop* tegangan pada MOSFET dan dioda. Komponen MOSFET dan dioda yang digunakan pada simulasi merupakan komponen ideal sehingga tidak ada pengaruh *drop* tegangan.

Ripple tegangan *output* pada rangkaian dihasilkan akibat proses pensaklaran pada MOSFET. Nilai tegangan *peak* maksimal yang dihasilkan sebesar -71,4 volt. Sedangkan nilai tegangan *peak* minimum sebesar -70,0 volt. Selisih antara tegangan *peak* maksimum dan *peak* minimum sebesar 1,4 V. Apabila nilai *ripple* tegangan *output* dibandingkan dengan nilai rata-rata tegangan *output*, maka akan didapatkan persentase *ripple* tegangan *output* sebesar 1,97%. Nilai ini sudah mendekati desain, dimana desain persentase *ripple* adalah 1%.

4.4. Perbandingan Konverter Cuk Konvensional dengan Induktor Terkopel

Pengujian perbandingan ini bertujuan untuk mengamati apakah penggunaan metode induktor terkopel dapat mengurangi *ripple* arus masukan daripada dengan metode konvensional. Sesuai dengan teori pada bab 2 bahwa dengan mengganti dua buah induktor tunggal dengan satu induktor terkopel, *ripple* arus masukan dapat diturunkan. Pada pembahasan sebelumnya telah dilakukan uji coba pada dua rangkaian konverter cuk baik secara simulasi maupun secara implementasi. Berikut adalah data dari kedua rangkaian konverter cuk.

Tabel 4.1 Perbandingan *ripple* arus masukan

Parameter	Nilai <i>Ripple</i> Arus Masukan		Reduksi
	Metode Konvensional	Metode Induktor terkopel	
Perhitungan	10%	-	Belum dapat ditentukan
Simulasi	8,6%	1,4%	7,2%
Implementasi	33,7%	25,28%	8,42%

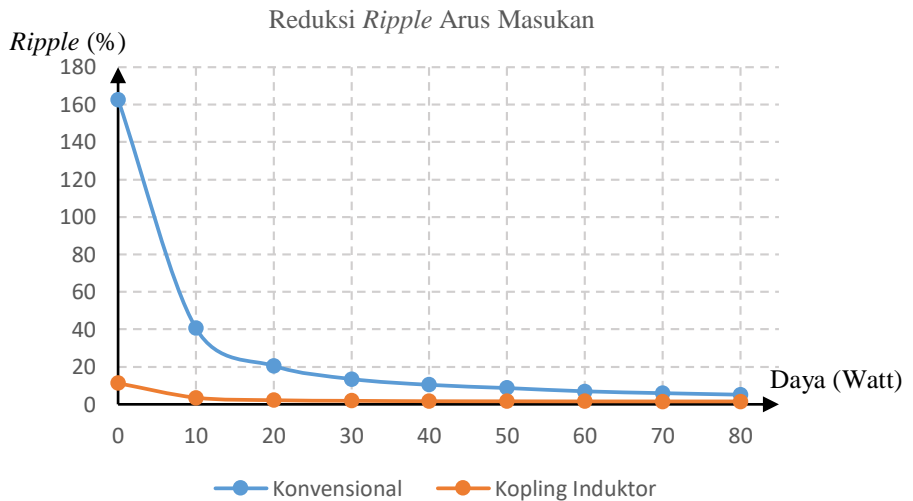
Dari tabel 4.1 di atas dapat diketahui bahwa nilai *ripple* arus masukan telah turun dengan penggunaan induktor terkopel. Besar nilai reduksi antara simulasi dan implementasi hampir sesuai. Perbedaannya terdapat pada kondisi awal nilai *ripple* arus masukan pada masing-masing rangkaian konverter cuk. Hal ini telah sesuai dengan teori yang dibahas pada bab 2.

Selain itu, pengujian juga dilakukan pada konverter cuk untuk mengamati reduksi *ripple* arus masukan apabila beban yang diberikan pada rangkaian konverter cuk diubah-ubah. Beban diubah disesuaikan untuk mendapatkan nilai daya dari 0 Watt sampai 80 Watt. Pengujian dilakukan pada tahap simulasi dan implementasi. Tabel 4.2 berikut merupakan hasil pengujian nilai reduksi *ripple* untuk rangkaian konverter cuk konvensional dan konverter cuk dengan induktor terkopel untuk tahap simulasi.

Tabel 4.2 Reduksi *ripple* arus masukan dengan perubahan daya tahap simulasi

No.	Daya (Watt)	Konvensioanl			Induktor Terkopel		
		i_{p-p} (A)	i_{avg} (A)	% <i>ripple</i>	i_{p-p} (A)	i_{avg} (A)	% <i>ripple</i>
1.	0	0,187	0,115	162,6	0,013	0,116	11,2
2.	10	0,174	0,428	40,65	0,015	0,429	3,49
3.	20	0,174	0,848	20,52	0,018	0,846	2,12
4.	30	0,170	1,263	13,46	0,023	1,263	1,82
5.	40	0,174	1,679	10,36	0,027	1,68	1,60
6.	50	0,181	2,094	8,64	0,033	2,096	1,57
7.	60	0,173	2,510	6,89	0,038	2,513	1,51
8.	70	0,173	2,937	5,91	0,044	2,931	1,50
9.	80	0,170	3,343	5,08	0,050	3,347	1,49

Berikut adalah grafik penurunan *ripple* arus masukan untuk konverter cuk dengan metode konvensional dan induktor terkopel.



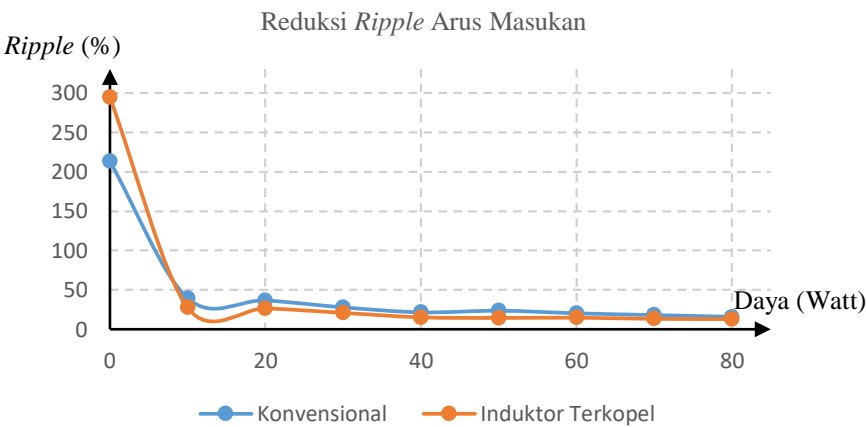
Gambar 4.6 Reduksi *ripple* arus masukan berdasarkan simulasi

Tabel 4.3 berikut merupakan hasil pengujian nilai reduksi *ripple* untuk rangkaian konverter cuk konvensional dan konverter cuk dengan induktor terkopel untuk tahap implementasi.

Tabel 4.3 Reduksi *ripple* arus masukan dengan perubahan beban tahap implementasi

No.	Daya (Watt)	Konvensional			Induktor Terkopel		
		i_{p-p} (A)	i_{avg} (A)	% <i>ripple</i>	i_{p-p} (A)	i_{avg} (A)	% <i>ripple</i>
1.	0	0,36	0,169	213,02	0,3	0,102	294,12
2.	10	0,4	1,01	39,6	0,28	1,01	27,72
3.	20	0,4	1,09	36,7	0,28	1,05	26,67
4.	30	0,4	1,43	27,97	0,3	1,43	20,98
5.	40	0,4	1,85	21,62	0,28	1,83	15,30
6.	50	0,46	1,94	23,71	0,32	2,2	14,55
7.	60	0,48	2,35	20,43	0,38	2,56	14,84
8.	70	0,48	2,64	18,18	0,4	2,99	13,38
9.	80	0,48	3,01	15,95	0,4	3,06	13,07

Berikut adalah grafik penurunan *ripple* arus masukan untuk konverter cuk dengan metode konvensional dan induktor terkopel.



Gambar 4.7 Reduksi *ripple* arus masukan berdasarkan implementasi

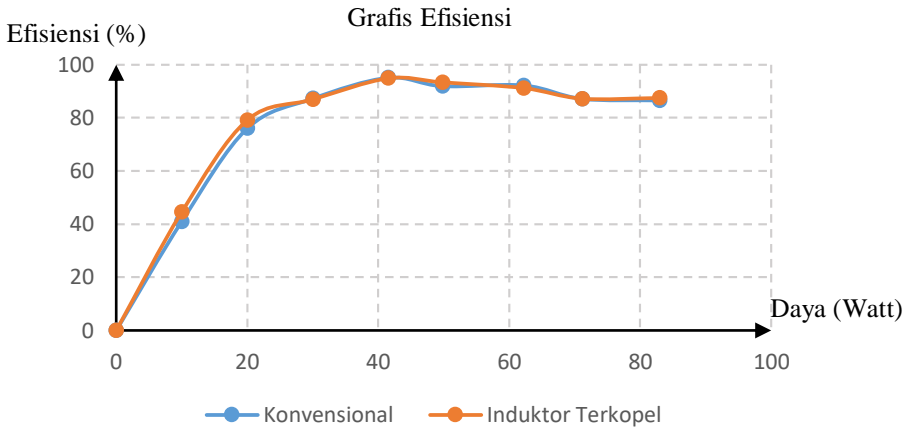
Dari grafik perubahan beban terhadap perubahan *ripple* arus masukan gambar 4.6 dan gambar 4.7 dapat diketahui bahwa semakin besar beban yang diberikan maka nilai *ripple* arus masukan akan semakin rendah. Hal ini karena pada persamaan bab 2 bahwa nilai beban (daya) berbanding terbalik dengan nilai *ripple* arus masukan.

Berikut adalah hasil pengujian efisiensi rangkaian konverter cuk. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik kinerja dari rangkaian konverter cuk apakah sudah baik atau belum. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan tegangan *input* yang konstan yaitu 24 Volt, tegangan *output* konstan yaitu 76 Volt dan beban yang diubah-ubah. Beban diubah bertujuan untuk mendapatkan daya *output* yang berubah-ubah. Perubahan beban dilakukan mulai dari 60% - 130% dari desain yang telah ditentukan. Dengan perubahan beban tersebut akan didapatkan nilai daya *output* seperti pada tabel 4.2. Untuk menghitung efisiensi dapat dilakukan dengan membandingkan daya *output* dengan daya *input*. Tabel 4.2 merupakan data hasil pengujian efisiensi pada rangkaian konverter cuk baik metode konvensional maupun dengan metode induktor terkopel.

Tabel 4.4 Efisiensi rangkaian konverter cuk

Daya <i>Output</i> (Watt)	Konvensional			Induktor Terkopel		
	P _s (Watt)	P _o (Watt)	Efisiensi (%)	P _s (Watt)	P _o (Watt)	Efisiensi (%)
0	4,056	0	0	2,448	0	0
10	24,24	9,94	41,01	24,24	10,8	44,55
20	26,16	19,88	75,99	25,2	19,936	79,11
30	34,32	29,928	87,2	34,32	29,82	86,89
41,49	39,84	37,854	95,02	40,32	38,232	94,82
59,79	46,56	42,78	91,88	52,8	49,28	93,33
62,24	56,40	51,975	92,15	61,44	56,00	91,15
71,13	63,36	55,195	87,11	71,76	62,559	87,18
82,98	72,24	62,496	86,51	73,44	64,214	87,44

Berikut adalah grafik efisiensi rangkaian konverter cuk



Gambar 4.8 Grafik efisiensi konverter cuk

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa apabila daya *output* pada rangkaian semakin tinggi, maka nilai efisiensi akan cenderung semakin menurun. Untuk implementasi rangkaian konverter cuk yang dibuat pada Tugas Akhir ini digunakan beban tetap yaitu elemen setrika dengan resistansi 138,18 Ohm dengan daya *output* 41,49. Sehingga efisiensi yang terbentuk ada metode konvensional sebesar 95,02% dan dengan metode induktor terkopel sebesar 94,82%. Nilai ini dapat dilihat pada tabel 4.2.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan implementasi rangkaian konverter cuk konvensional dengan rangkaian cuk induktor terkopel dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan induktor terkopel dapat menurunkan besar *ripple* arus masukan pada rangkaian sampai 8,42%.
2. Konstruksi yang digunakan pada metode induktor terkopel lebih mudah karena hanya menggunakan satu inti besi dan nilai induktansi yang dihasilkan lebih rendah. Pada rangkaian konvensional dibutuhkan induktor dengan nilai induktansi 1,4 mH dan 4,03 mH, sedangkan pada metode induktor terkopel membutuhkan nilai induktansi 1,0044 mH dan 0,981 mH. Sehingga jumlah belitan kawat yang digunakan lebih sedikit.
3. Terdapat perbedaan nilai *ripple* antara desain dan implementasi. Pada desain nilai *ripple* yang dihasilkan 8,4% dan diturunkan menjadi 1,4%. Sedangkan pada implementasi didapatkan nilai *ripple* yang dihasilkan 33,7% dan diturunkan menjadi 25,28%.

5.2. Saran

Adapun saran pada tugas akhir ini yang dapat digunakan sebagai referensi pengembangan penelitian selanjutnya adalah :

1. Memilih komponen di pasaran yang mampu dioperasikan dengan frekuensi tinggi.
2. Rancang bangun induktor perlu diperbaiki untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan desain perencanaan. Sehingga dapat meningkatkan kinerja implementasi alat.
3. Melakukan analisa lebih lanjut mengenai *zero current ripple* pada konverter cuk agar mendapatkan reduksi *ripple* arus yang lebih besar.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. J. S. Newlin, R. Ramalakshmi and M. S. Rakasekaran, "A Performance Comparison of Interleaved Boost Converter and Conventional Boost Converter for Renewable Energy Application," in *International Conference on Green High Performance Computing*, Tamil Nadu, India, March, 2013.
- [2] D. W. Hart, *Power Electronics*, New York, USA: Pearson Education, Inc., 2011.
- [3] V. Bish and B. Singh, "PFC Cuk Converter-fed BLDC Motor Drive," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.30, No.2, New Delhi, India, February, 2015.
- [4] L. Mohamed, N. F. Abdul Hamid, Z. M. Isa, N. Saudin, N. H. Ramly and N. B. Ahamad, "Cuk Converter as a LED Lamp Driver," in *Internasional Conference on Power and Energy (PECon)*, Kota Kinabalu Sabah, Malaysia, December, 2012.
- [5] J. Falin, "Coupled Inductors Broaden DC/DC Converter Usage," Texas Instruments Incorporated, Dallas, Texas, 2010.
- [6] H. Bryce, "Analysis and Modeling of Magnetic Coupling," University of Colorado, Boulder, Colorado, April 2007.
- [7] G. Ranganathan and L. Umanand, "Power Factor Improvement using DCM Cuk Converter with Coupled Inductor," in *IEE Proc. - Electr. Power Appl.*, Vol.146, No.2, India, March, 1999.
- [8] J. W. Kolar, H. Sree, N. Mohan and F. C. Zach, "Novel Aspects of an Application of 'Zero'-ripple Techniques to basic Converter Topologies," Austria, 1997.
- [9] Z. Zhang, "Thesis : Coupled-Inductor Magnetics in Power Electronics," California Institute of Technology, Pasadena, California, October, 1986.
- [10] M. Ashari, *Elektronika Daya Konverter DC-DC*, Surabaya: Bintang Jaya, 2011.
- [11] L. R. Diana, "Practical Magnetic Design : Inductors and Coupled Inductors".

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Tabel Kawat Tembaga AWG

AWG	Diameter [inches]	Diameter [mm]	Area [mm ²]	Resistance [Ohms / 1000 ft]	Resistance [Ohms / km]	Max Current [Amperes]	Max Frequency for 100% skin depth
0000 (4/0)	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	302	125 Hz
000 (3/0)	0.4096	10.40384	85	0.0618	0.202704	239	160 Hz
00 (2/0)	0.3648	9.26592	67.4	0.0779	0.255512	190	200 Hz
0 (1/0)	0.3249	8.25246	53.5	0.0983	0.322424	150	250 Hz
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	119	325 Hz
2	0.2576	6.54304	33.6	0.1563	0.512664	94	410 Hz
3	0.2294	5.82676	26.7	0.197	0.64616	75	500 Hz
4	0.2043	5.18922	21.2	0.2485	0.81508	60	650 Hz
5	0.1819	4.62026	16.8	0.3133	1.027624	47	810 Hz
6	0.162	4.1148	13.3	0.3951	1.295928	37	1100 Hz
7	0.1443	3.66522	10.5	0.4982	1.634096	30	1300 Hz
8	0.1285	3.2639	8.37	0.6282	2.060496	24	1650 Hz
9	0.1144	2.90576	6.63	0.7921	2.598088	19	2050 Hz
10	0.1019	2.58826	5.26	0.9989	3.276392	15	2600 Hz
11	0.0907	2.30378	4.17	1.26	4.1328	12	3200 Hz
12	0.0808	2.05232	3.31	1.588	5.20864	9.3	4150 Hz
13	0.072	1.8288	2.62	2.003	6.56984	7.4	5300 Hz
14	0.0641	1.62814	2.08	2.525	8.282	5.9	6700 Hz
15	0.0571	1.45034	1.65	3.184	10.44352	4.7	8250 Hz
16	0.0508	1.29032	1.31	4.016	13.17248	3.7	11 k Hz
17	0.0453	1.15062	1.04	5.064	16.60992	2.9	13 k Hz
18	0.0403	1.02362	0.823	6.385	20.9428	2.3	17 kHz
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	1.8	21 kHz
20	0.032	0.8128	0.518	10.15	33.292	1.5	27 kHz
21	0.0285	0.7239	0.41	12.8	41.984	1.2	33 kHz
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	0.92	42 kHz
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	0.729	53 kHz
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.577	68 kHz
25	0.0179	0.45466	0.162	32.37	106.1736	0.457	85 kHz
26	0.0159	0.40386	0.129	40.81	133.8568	0.361	107 kHz
27	0.0142	0.36068	0.102	51.47	168.8216	0.288	130 kHz
28	0.0126	0.32004	0.081	64.9	212.872	0.226	170 kHz
29	0.0113	0.28702	0.0642	81.83	268.4024	0.182	210 kHz
30	0.01	0.254	0.0509	103.2	338.496	0.142	270 kHz
31	0.0089	0.22806	0.0404	130.1	426.728	0.113	340 kHz
32	0.008	0.2032	0.032	164.1	538.248	0.091	430 kHz
33	0.0071	0.18034	0.0254	206.9	678.632	0.072	540 kHz
34	0.0063	0.16002	0.0201	260.9	855.752	0.056	690 kHz
35	0.0056	0.14224	0.016	329	1079.12	0.044	870 kHz
36	0.005	0.127	0.0127	414.8	1360	0.035	1100 kHz
37	0.0045	0.1143	0.01	523.1	1715	0.0289	1350 kHz
38	0.004	0.1016	0.00797	659.6	2163	0.0228	1750 kHz
39	0.0035	0.0889	0.00632	831.8	2728	0.0175	2250 kHz
40	0.0031	0.07874	0.00501	1049	3440	0.0137	2900 kHz

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis buku Tugas Akhir dengan judul **“Desain dan Implementasi Konverter Cuk dengan Induktor Terkopel untuk Reduksi Ripple Arus Masukan”** bernama lengkap Bagus Kurniawan Susanto. Penulis yang akrab disapa Bagus lahir di Malang pada tanggal 19 Agustus 1996. Penulis hidup sederhana bersama orang tua dan adik di Kabupaten Malang. Penulis telah menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di BLKI Singosari pada tahun 2002, pendidikan tingkat dasar di SD Negeri Ardimulyo 2 pada tahun 2008, pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 1 Singosari pada tahun 2011, pendidikan tingkat lanjut di SMA Negeri 1 Lawang pada tahun 2013 dan pendidikan tingkat tinggi di Jurusan Teknik Elektro ITS pada tahun 2017. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di organisasi dan kepanitiaan, seperti : Sekretaris Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Periode 2014/2016, Bendahara Unit Kegiatan Pramuka ITS Periode 2014/2015, Panitia ITS Expo 2014 dan 2015 dan Asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik tahun 2016. Penulis juga aktif di bidang keilmiahan dan telah mendapat juara di berbagai lomba tingkat nasional.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)